

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Departamento de Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera



**POBLACIONES ESTELARES EN
GALAXIAS ELÍPTICAS ENANAS**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR
Santos Pedraz Marcos

Bajo la dirección del doctor:
Javier Gorgas García

Madrid, 2007

• **ISBN: 978-84-669-2924-0**

© Santos Pedraz Marcos, 2006



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
DEPARTAMENTO DE ASTROFÍSICA Y CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA

POBLACIONES ESTELARES EN GALAXIAS ELÍPTICAS ENANAS

Santos Pedraz Marcos
Madrid, Enero 2006

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
DEPARTAMENTO DE ASTROFÍSICA Y CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA

POBLACIONES ESTELARES EN GALAXIAS ELÍPTICAS ENANAS

Dirigido por
D. Javier Gorgas García
Profesor Titular de E.U.
Universidad Complutense de Madrid

Memoria presentada por
D. Santos Pedraz Marcos
para aspirar al grado de
Doctor en Ciencias Físicas
Madrid, Enero 2006

Índice general

Índice	I
1. Introducción	1
1.1. Galaxias elípticas enanas	1
1.2. Estructura	3
1.3. Cinemática	5
1.4. Poblaciones estelares	8
1.5. Distribución espacial	10
1.6. Formación y evolución	11
1.7. Objetivos y esquema de este trabajo	14
2. Observaciones y reducción de datos	17
2.1. Campañas de observación	17
2.2. La muestra de galaxias	18
2.3. Reducción de las observaciones	22
2.3.1. Observaciones de rendija larga	23
2.3.2. Observaciones <i>Wyffos</i>	33
3. Análisis de los espectros y obtención de datos	37
3.1. Cinemática	37
3.1.1. Valores centrales	41
3.1.2. Curvas de rotación y perfiles de dispersión de velocidades	46
3.2. Índices de intensidad de líneas	49
3.2.1. Definición de los índices	49
3.2.2. Cálculo de errores en los índices	54
3.2.3. Transformación de los índices al sistema de Lick	56
3.3. Valores centrales de los índices	72
3.4. Gradientes de índices	86
4. Dinámica de galaxias elípticas enanas	93
4.1. Introducción	93
4.2. Medidas de parámetros dinámicos	94
4.3. Comparación con las medidas de otros autores	99

4.4. Soporte rotacional de las galaxias E enanas	102
4.5. Discusión	105
5. Índices centrales	109
5.1. Los datos	109
5.2. Relaciones $I - \sigma_0$	112
5.3. Diagramas índice - índice	129
5.4. Análisis de edades y metalicidades	134
5.4.1. Introducción	134
5.4.2. Medida de edades y metalicidades	136
5.4.3. Edades y metalicidades promedio	142
5.4.4. La relación edad-metalicidad	145
5.4.5. Relaciones con la dispersión de velocidades	149
5.4.6. El plano edad-metalicidad- σ	153
5.5. Conclusiones	157
6. Gradientes de índices	161
6.1. Introducción	161
6.2. Medidas de gradientes de índices en galaxias elípticas enanas y compactas.	164
6.3. Comparación con galaxias elípticas gigantes	166
6.4. Correlación de los gradientes de índices con otros parámetros.	168
6.5. Cálculo de gradientes de edad y metalicidad	174
6.5.1. Abundancias relativas a lo largo del radio	179
6.5.2. Correlación del gradiente de metalicidad con otros parámetros	181
6.6. Conclusiones	183
7. Conclusiones	185
Bibliografía	189
A. Velocidad radial y dispersión de velocidades centrales	199
B. Gradientes de velocidad radial y dispersión de velocidades	213
C. Gradientes de índices	235

Capítulo 1

Introducción

1.1. Galaxias elípticas enanas

Las galaxias elípticas enanas (dE) constituyen la población de galaxias más abundantes en el universo local, tal y como lo demuestran las funciones de luminosidad de los cúmulos más próximos (Secker, Harris y Plummer 1997; Trentham 1997; Phillips et al. 1998). Sin embargo, aún se conoce muy poco de ellas, tanto de su propia naturaleza como de su origen. Esto es principalmente debido a su baja luminosidad que dificulta en gran manera los estudios detallados (Ferguson y Binggeli 1994).

Se pueden definir, o caracterizar, como galaxias pequeñas con diámetros menores que unos pocos kiloparsecs, poco brillantes y de aspecto esferoidal. Su luminosidad total es $M_B \geq -18$, y típicamente, son más débiles que $M_B = -16$ y tienen masas no mayores que $10^9 M_\odot$. Estos dos aspectos las diferencian de las elípticas normales o gigantes (E), las cuales son más brillantes, más extensas y normalmente, unas mil veces más masivas, planteando a la vez, la pregunta fundamental, de si las elípticas enanas son simplemente la extensión a menores tamaños y luminosidades de las gigantes o, si por el contrario, tienen un origen o evolución diferente.

En la literatura se suele hacer referencia al extremo más débil de las dE como enanas esferoidales (dSph), pero su límite no está claramente definido. La nomenclatura sobre las galaxias que nos ocupan es bastante imprecisa. Mientras que unos autores se refieren a ellas como galaxias esferoidales brillantes (Kormendy y Bender 1994), otros las clasifican como galaxias elípticas enanas (Binggeli 1994). En este trabajo usaremos esta última nomenclatura.

Otra característica de las elípticas enanas es la suave variación en su perfil de brillo superficial. Esto, junto con la ausencia casi total de gas y la prácticamente nula formación estelar, las diferencia claramente de otras galaxias enanas de tipos más tardíos como espirales, compactas azules (BCDs) o irregulares (dIrrs). La posible relación evolutiva entre dE y estos objetos es uno de los puntos de debate en la actualidad.

Los ejemplos más próximos de estas galaxias los encontramos en el Grupo Lo-

cal, en el que tenemos elípticas enanas como NGC 147, NGC 185 y, como caso más representativo, NGC 205. Sin embargo, la otra galaxia elíptica del grupo de M 31 (NGC 221 o M 32) no se considera parte de la familia de las dE, siendo clasificada como elíptica compacta (cE). Por otra parte, la amplia muestra de galaxias esferoidales enanas del Grupo Local, con $M_V \geq -14$ y $M_{\text{tot}} \leq 10^7 M_\odot$, son consideradas como el extremo débil de la función de luminosidad de las dE.

Antes de presentar una descripción detallada de las propiedades de las dE, conviene repasar los principales hitos en la evolución histórica del conocimiento de estas galaxias. El propio concepto de galaxia elíptica enana, como objeto marcadamente diferenciado, nace con el descubrimiento por Shapley (1938) de las compañeras de la Vía Láctea en las constelaciones de Fornax y Escultor, de donde toman su nombre. Seguidamente se identificaron las compañeras de Andrómeda (M 31), así como las enanas más brillantes en el cúmulo de Virgo. Baade y Shapley (1944) resolvieron las estrellas más brillantes en estas galaxias, identificándolas como de *población II*, destacando también la ausencia de estrellas tipo O–B. Esto, junto con su estructura suave, emparentaba a las dE con los cúmulos globulares y las galaxias elípticas. Sin embargo, al mismo tiempo Baade apunta diferencias estructurales, apoyándose en la densidad superficial de estrellas, que las identifican como objetos bien diferenciados.

Posteriores exploraciones más sistemáticas como, el *Palomar Sky Survey*, y búsquedas de objetos de baja luminosidad superficial detectaron un gran número de galaxias enanas, tanto en el Grupo Local como en cúmulos próximos (Van den Bergh 1959, 1972). Sin embargo, debido a su bajo brillo intrínseco, el estudio sistemático de sus propiedades, como su distribución espacial, funciones de luminosidad o relaciones estructurales, no se pudo acometer hasta los trabajos fotográficos de Binggeli et al. (1985), Caldwell (1987) o Ferguson y Sandage (1988). Simultáneamente, se realizaron los primeros estudios espectroscópicos y fotométricos que permitieron iniciar el estudio de las propiedades de sus poblaciones estelares (Bothun and Caldwell 1984; Bothun et al. 1985).

Actualmente, las búsquedas más completas de galaxias dentro del Volumen Local de 5 Mpc (Karachentsev 2001; Huchtmeier 2001) han producido catálogos que contienen hasta 600 galaxias enanas con velocidades radiales $\leq 500 \text{ km s}^{-1}$, tanto asociadas a pequeños grupos como el Grupo Local, como totalmente aisladas. La mayor parte de estas galaxias muestran una tendencia a estar más concentradas en torno a otra galaxia más masiva en estos grupos, a diferencia de las enanas de tipos más tardíos, que suelen estar más ampliamente distribuidas (Jerjen, Binggeli y Freeman 2000). Este comportamiento es distinto al que muestran las elípticas enanas en los cúmulos más próximos, donde suelen tener una distribución más dispersa dentro de todo el volumen sin mostrar una mayor densidad en las proximidades de las galaxias gigantes (Conselice, Gallagher y Wyse 2001).

Los estudios más recientes, tanto con el Telescopio Espacial como desde tierra (Grebel 2000; Seitzer et al. 2001) están permitiendo estudiar las dEs del Grupo Local, midiendo velocidades radiales precisas, y obteniendo fotometría de las es-

trellas individuales más brillantes para derivar distancias y abundancias metálicas que nos ayudarán a avanzar en el conocimiento de la historia de su formación estelar.

El estudio detallado de las propiedades de las galaxias elípticas enanas, además del propio interés intrínseco, también permite indagar en algunas cuestiones de carácter cosmológico como: entender los resultados de búsquedas a alto desplazamiento al rojo y compararlos con los más cercanos en términos evolutivos; investigar si las funciones de luminosidad pueden poner restricciones al espectro primordial de fluctuaciones de densidad, o examinar si efectos de entorno pueden influir significativamente en la evolución de galaxias en cúmulos o aisladas. El buscar respuestas a estas cuestiones, apoyándose en el gran desarrollo instrumental, está permitiendo que poco a poco, se vayan consiguiendo algunos avances en el conocimiento de la estructura interna y cinemática de estas galaxias, en el estudio de sus poblaciones estelares o de las funciones de luminosidad, en el análisis de su distribución espacial y, finalmente, en caracterizar su evolución, tanto de forma individualizada como en un contexto cosmológico.

1.2. Estructura

La luminosidad de las galaxias elípticas enanas cubre un rango de por lo menos cuatro ordenes de magnitud, desde las más brillantes con $M_B \sim -18$ hasta las más débiles con $M_B = -8$. Los perfiles de brillo superficial que las caracterizan muestran algunas tendencias. Por ejemplo, cuando aumenta la luminosidad total, también aumenta el brillo superficial medio (al contrario que para las elípticas gigantes), y los perfiles se hacen más planos en las partes exteriores y más pronunciados en el centro (Binggeli y Cameron 1991). Los perfiles de brillo se pueden parametrizar mediante una ley r^n de Sérsic (1968): $I(r) = I_0 \exp[(r/r_0)^{1/n}]$, donde $I(r)$ es la intensidad del brillo superficial a una distancia del centro r , I_0 es este valor en el centro, y r_0 es una longitud de escala (Binggeli y Jerjen 1998). Describiendo los perfiles mediante esta expresión, se pueden englobar tanto las galaxias que se ajustan a una ley $r^{1/4}$ (de Vaucouleurs 1948) ($n = 4$ para elípticas gigantes), como las que muestran un perfil exponencial ($n = 1$), como el apuntado por Davies et al. (1988) o Jerjen (1995). De esta forma, la curvatura del perfil queda identificada por el exponente o índice de Sérsic n . De entre los perfiles obtenidos para amplias muestras de dEs en el cúmulo de Virgo (Binggeli y Cameron 1993, Ryden et al. 1999), las más débiles suelen tener índices más próximos a 1, mientras que dicho exponente va aumentando con la luminosidad. Graham y Guzmán (2003) en una muestra que cubre un rango de 10 magnitudes, encuentran sin embargo, que las dEs muestran una secuencia continua con las elípticas más brillantes, en el sentido de que, el brillo superficial central (μ_0) de las galaxias aumenta linealmente con su magnitud absoluta (M_B), hasta que la formación de un núcleo, hace que las elípticas más luminosas ($M_B < \sim -20,5$) se desvien de esta relación.

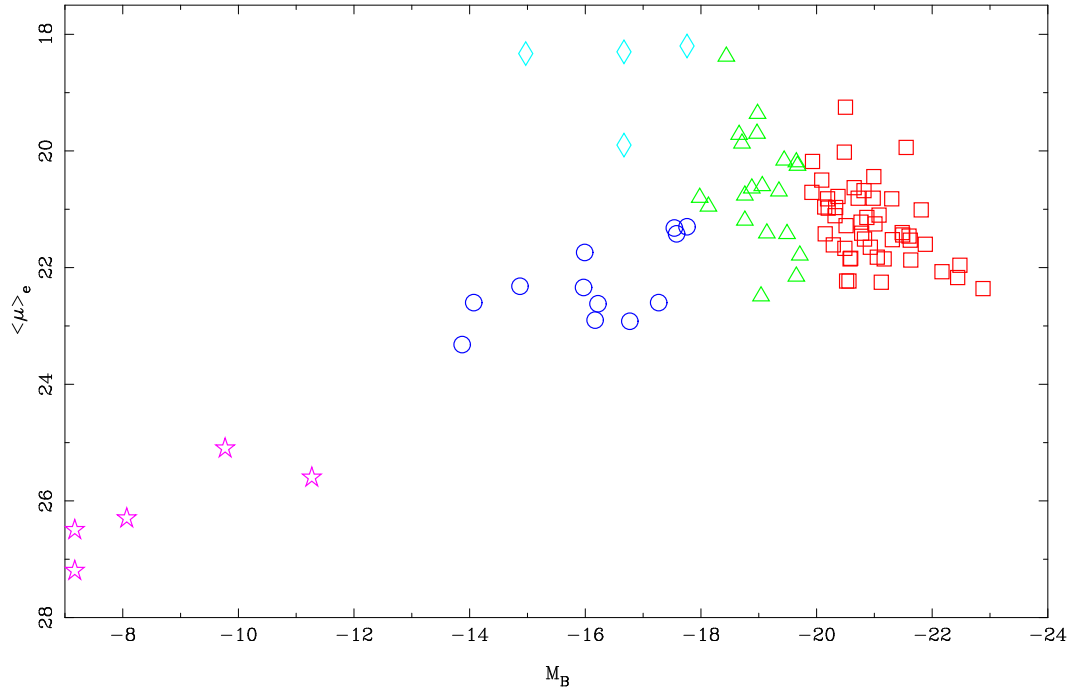


Figura 1.1: Brillo superficial medio dentro del radio efectivo frente a la magnitud absoluta en B, para la muestra de galaxias de Bender et al. (1992). Con los distintos símbolos queda reflejada su propia clasificación: cuadrados rojos para las elípticas gigantes, triángulos verdes para las intermedias, rombos azules para las compactas, círculos azules para las elípticas enanas brillantes y las estrellas moradas para las enanas esferoidales del Grupo Local.

Las elípticas enanas más brillantes suelen mostrar una parte central o núcleo más brillante que el que se ajustaría a los perfiles descritos. Esta región, de unas decenas de parsecs aproximadamente, puede contener hasta un 20 % de la luminosidad total de la galaxia. El análisis de este exceso de brillo en las galaxias más cercanas sugiere que se trata de cúmulos supermasivos de estrellas dinámicamente diferenciados (Ferguson y Binggeli 1994). Tan sólo con observaciones del Telescopio Espacial (Ryden et al. 1999, Stiavelli et al. 2001) se pueden resolver estos núcleos a una distancia como el cúmulo de Virgo. En este caso, el exceso de luminosidad atribuida al núcleo es similar o superior a los cúmulos globulares más brillantes de nuestra Galaxia (Geha et al. 2002). Tres de cada cuatro dE brillantes son nucleadas, clasificándose en una subclase dEn, y la proporción disminuye con la luminosidad.

Un ejemplo de la aparente dicotomía estructural entre dE y las galaxias elípticas clásicas se puede observar en la figura 1.1. Cuando se representa el brillo superficial medio dentro del radio efectivo ($\langle \mu \rangle_e$), frente a la magnitud absoluta (M_B), las galaxias elípticas siguen una secuencia que muestra dos comportamientos bien

diferenciados. Como se aprecia en la figura, las más brillantes o gigantes tienen menor $\langle\mu\rangle_e$ para mayor luminosidad, mientras que, en cambio, para las enanas el brillo superficial medio crece con M_B . Este cambio en la tendencia se produce en torno a $M_B \sim -18$, $\langle\mu\rangle_e \sim 21$ y con un radio efectivo de unos dos kiloparsecs. Sin embargo, tal y como indican Graham y Guzmán (2003), también se encuentra una secuencia continua entre las dEs y las elípticas de luminosidad intermedia, cuando se ajusta una ley de Sérsic y se representa μ_0 frente a M_B , y son las elípticas más gigantes las que se devían de la relación. Por lo tanto, los últimos estudios ponen en duda el que realmente exista una dicotomía en las propiedades estructurales de las galaxias elípticas enanas y gigantes.

Tanto este comportamiento del brillo superficial, como la variación del índice de Sérsic con la luminosidad total para las elípticas enanas, han sido analizados como posibles indicadores de distancia (Binggeli y Jerjen 1998; Trujillo et al. 2001).

Aunque las isofotas de las elípticas enanas se ajustan bastante bien a elipses, el análisis de las pequeñas desviaciones respecto a estas ($\langle a_4/a \rangle$), muestran una distribución según su aplanamiento o elipticidad ($\langle \epsilon \rangle$), similar a la que se encuentra en las elípticas gigantes. Sin embargo, de forma general, las enanas suelen ser más aplanadas (mayor $\langle \epsilon \rangle$) y muestran un mayor retorcimiento de las isofotas (Ryden et al. 1999).

1.3. Cinemática

Dentro del espacio definido por los tres parámetros: dispersión de velocidades central (σ_0), brillo superficial medio dentro del radio efectivo ($\langle SB \rangle_e$) y radio efectivo (r_e), las galaxias elípticas ocupan solamente una región denominada *Plano Fundamental*, que se muestra más clara con la proyección, definida por Bender, Burstein y Faber (1992), sobre los ejes de coordenadas definidas por los parámetros :

$$\kappa_1 \equiv (\log \sigma_0^2 + \log r_e)/\sqrt{2} \quad \propto \log M \quad (1.1)$$

$$\kappa_2 \equiv (\log \sigma_0^2 + 2 \log I_e - \log r_e)/\sqrt{6} \quad \propto I_e^3 M/L \quad (1.2)$$

$$\kappa_3 \equiv (\log \sigma_0^2 - \log I_e - \log r_e)/\sqrt{3} \quad \propto \log M/L \quad (1.3)$$

donde $I_e = 10^{-0.4(\langle SB \rangle_e - 27)}$ es la intensidad media dentro del radio efectivo. Aunque la muestra de elípticas enanas para las que se han podido medir estos parámetros aún es escasa, se comprueba que también se localizan en este plano, pero con tendencias distintas y una zona marcadamente diferenciada, situada entre la ocupada por las gigantes y la de las esferoidales, tal y como se aprecia en la figura 1.2.

Además de las diferencias conocidas entre los distintos tipos de objetos, como sus masas o su dispersión de velocidades, también existen diferencias entre la razón

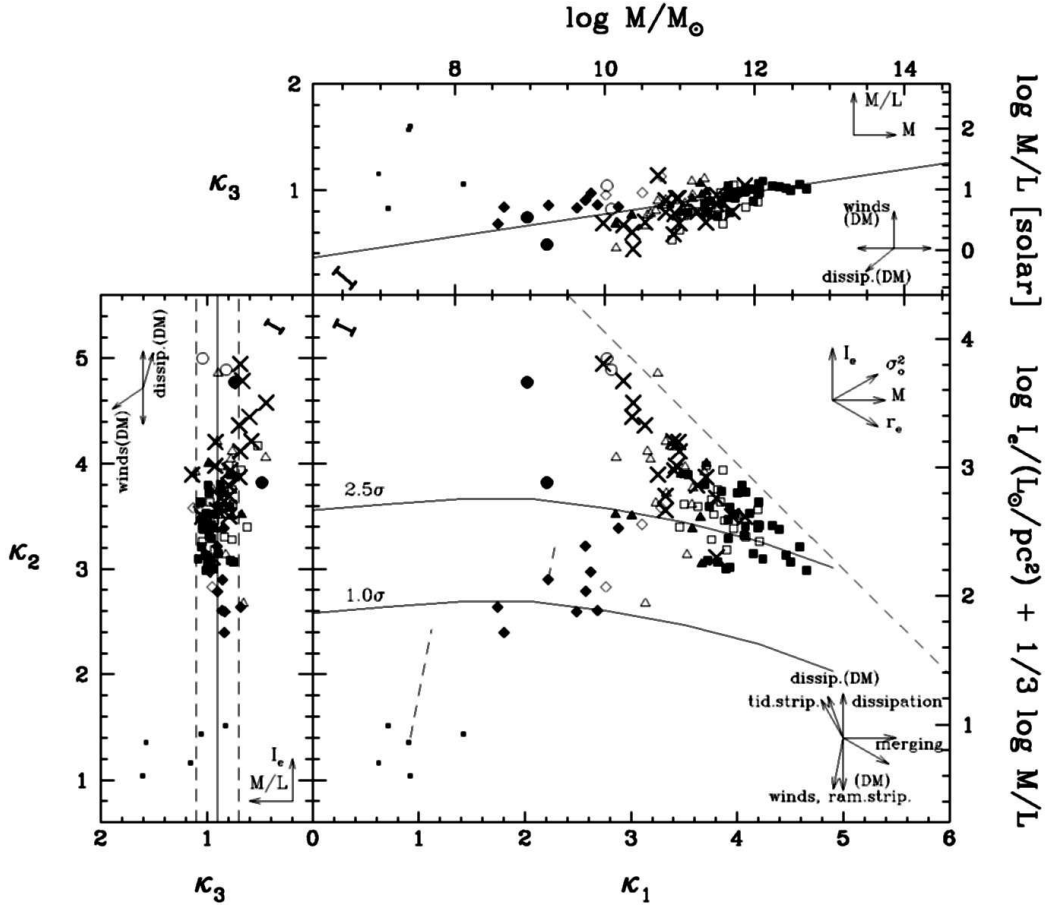


Figura 1.2: Extraída de Bender, Burstein y Faber 1993. Con cuadrados se identifican elípticas gigantes (magnitud absoluta $M_T < -20,5$ mag), con triángulos las de luminosidad intermedia ($20,5 \text{ mag} < M_T < 18,5 \text{ mag}$), con círculos las compactas y con diamantes las dE. Los símbolos abiertos indican las galaxias que están achatadas por rotación y los rellenos las que muestran anisotropía en su cinemática. Los bulbos de galaxias espirales están representados con cruces y los cinco pequeños cuadrados del extremo inferior izquierdo, son esferoidales del Grupo Local.

masa/luminosidad. (Geha et al. 2002) también encuentran diferencias entre las enanas más o menos nucleadas, ya que cuando analizan estos núcleos como componentes separadas, ocupan una zona del Plano Fundamental más coincidente con la de los cúmulos globulares más brillantes .

Para las elípticas clásicas, las más débiles están soportadas por rotación, a diferencia de las más luminosas, que están soportadas por una anisotropía en la dispersión de velocidades de sus estrellas (Davies et al. 1983; Bender y Nieto 1990). Si las elípticas enanas fueran una simple extensión hacia luminosidades o masas menores, uno esperaría encontrar altos valores de rotación en ellas. Como la medida de perfiles de la dispersión de velocidades requiere alta relación señal/ruido lejos del centro de las galaxias, hasta la fecha son muy pocas las elípticas enanas en las que se ha podido llevar a cabo un estudio de este tipo. Cuando se comenzó esta tesis tan sólo se contaba con estas medidas en las tres dEs del Grupo Local compañeras de M 31, y en algunas enanas brillantes del cúmulo de Virgo Fornax (Bender, Paquet y Nieto 1991; Bender y Nieto 1990; Mateo et al. 1991; Held et al. 1992). En todos estos casos parecía que las dEs no estaban soportadas por rotación. Esta diferencia con las Es más débiles, en principio, parecía coincidente con la discontinuidad que se encuentra en sus aspectos fotométricos.

Otro aspecto significativo en el estudio de las galaxias enanas, de interés cosmológico, es su contenido en materia oscura. Tal y como se desprende de la cinemática interna de las estrellas que las componen, las enanas son el tipo de galaxias que más dominadas están por materia oscura (Mateo 1998). El ejemplo extremo son las elípticas enanas y esferoidales menos masivas del Grupo Local, en las que se estiman densidades centrales entre 0.1 y $1 \text{ M}_\odot \text{pc}^{-3}$ y valores de M/L entre 5 o 10 (para Fornax y Sculptor; Mateo 1998) y ~ 60 (Draco) ó ≥ 100 (Ursa Minor; Wilkinson et al. 2002). Lo que no se conoce apenas es como se distribuye esta materia oscura. Una primera opción sería un agujero negro en el centro de las galaxias. Con el análisis cinemático de algunas elípticas enanas del cúmulo de Virgo, Geha et al. (2002) ponen una cota superior de 10^7 M_\odot a esta posible componente. Dicha cota, aunque pequeña desde un punto de vista cosmológico, es bastante mayor que la que se desprende de la relación que encuentran Tremaine et al. (2002) con la dispersión de velocidades central para elípticas gigantes y bulbos de espirales. Otras opciones serían que la masa siguiese la distribución de luminosidad o que la materia oscura estuviese más extendida que la luminosa. Cada una de estas posibilidades daría lugar a distintos perfiles de velocidades. La existencia de elípticas enanas con y sin rotación entre las pocas analizadas hasta la fecha, deja el debate abierto hasta que la muestra sea más significativa.

1.4. Poblaciones estelares

El conocer el contenido estelar de las galaxias elípticas enanas es de importancia crítica para poder discriminar entre los distintos modelos de formación y evolución de este tipo de galaxias.

Actualmente se cuenta con observaciones de una amplia muestra de enanas (o esferoidales) del Grupo Local, en las que se resuelven cientos o miles de estrellas que permiten, mediante los clásicos diagramas color–magnitud, deducir algunas restricciones sobre la historia de su formación estelar. Lo primero a resaltar es la gran variedad, tanto en edad como en metalicidad, de las historias de formación de sus poblaciones estelares (Ferguson y Binggeli 1994; Da Costa et al. 1996; Hurley-Keller; Mateo y Nemec 1998; Martínez-Delgado, Gallart y Aparicio 1999; Grebel 2000; Harbeck 2001; etc.).

En todas las esferoidales estudiadas hay una población vieja, similar a la de los cúmulos globulares, que se deduce en principio por la existencia de estrellas RR–Lyrae y por la presencia de una rama horizontal extendida hacia el azul. Es muy frecuente también detectar estrellas de carbono en la rama asintótica de las gigantes con luminosidades superiores a las del pico de la rama de las gigantes, lo que es indicativo de una población de edad intermedia (2–10 Gigaños). La existencia de esta población de edad intermedia también se confirma en algunos casos en los que se alcanza el punto de giro de la secuencia principal (Gallart 2000). Hay que indicar que la presencia de poblaciones más jóvenes suele estar más localizada en las partes centrales de estas galaxias. Aunque de forma generalizada las elípticas enanas y esferoidales del Grupo Local son bastante menos metálicas que las elípticas clásicas, prolongando así la relación metalicidad–luminosidad hacia los extremos inferiores en ambos parámetros, se encuentran diferencias significativas entre ellas (Da Costa et al. 2000), las cuales se pueden determinar al observar más poblada la parte roja de la rama horizontal (indicativo de mayor metalicidad) o la parte azul. Aunque esto también puede deberse a grandes diferencias en edad, las distintas metalicidades igualmente se deducen a partir de la posición y anchura de la rama de las gigantes rojas (Saviane et al. 2000).

Al analizar parámetros globales de las elípticas enanas fuera del Grupo Local, donde ya no pueden resolverse estrellas individuales, se encuentran también evidencias claras de que no albergan una sencilla población estelar vieja que ha evolucionado de forma pasiva. En particular, hay perturbaciones en su morfología (Sandage y Binggeli 1984), diferencias de color (Vigroux et al. 1985) o líneas de absorción de la serie de Balmer (Bothun y Mould 1988; Gregg 1991), que indican poblaciones estelares de distintas edades. De forma general, las enanas son la continuación, en la relación color–magnitud, de las elípticas gigantes, encontrándose más cerca de los cúmulos globulares. Para diferenciar si el color mas azul de las dEs es debido a edades mas jovenes o a metalicidades menores, Thuan (1985) y Bothun et al. (1986) observan 16 dEs en el cúmulo de Virgo en las bandas J, H y K del infrarrojo cercano

y deducen una metalicidad entre solar y un tercio de esta, y edades de entre 1 y 8 Gigaños para los últimos brotes de formación estelar. Cuando se comparan con las predicciones de los modelos de síntesis de poblaciones, los índices espectrales y colores observados en estas galaxias se encuentran entre los de las gigantes y los de los cúmulos globulares (Ferguson 1994). Pero de nuevo, no es evidente saber si las diferencias son debidas a la edad o la metalicidad, pues una población estelar el doble de metálica produce efectos similares que otra, tres veces mas joven, en su distribución espectral de energía integrada (Worthey 1994). En una muestra de dEs del cúmulo de Fornax Held y Mould (1994) encuentran variaciones en la metalicidad de 0.7 dex que se correlacionan con los colores observados, pero no con la luminosidad total o el brillo superficial. Las enanas nucleadas muestran un mayor rango en la intensidad de las líneas de Balmer, que para una metalicidad fija son indicativas de variaciones en la edad de hasta 10 Gigaños. Pero, sin embargo, también hay algunas enanas que tienen estas líneas más débiles incluso que los cúmulos globulares, lo cual, en principio, indicaría edades mayores que las de estos. En definitiva, hasta la fecha no existe una muestra observacional amplia y con calidad suficiente para deducir de forma clara las posibles diferencias entre las poblaciones estelares de galaxias elípticas clásicas y dEs.

Las relaciones entre las poblaciones estelares de las dEs y sus parámetros estructurales pueden ayudar a restringir los posibles escenarios de su formación. Bender et al. (1993) encuentran una clara correlación entre el índice de intensidad de línea Mg_2 y la dispersión de velocidades central (σ_0) que se extiende desde las elípticas gigantes hasta las esferoidales menos masivas del Grupo Local, pasando por las elípticas enanas del cúmulo de Virgo. Aunque Mg_2 no es una medida directa de la metalicidad, los residuos de esta tendencia muestran una relación con la edad, al menos para las galaxias más masivas en las que poblaciones jóvenes van acompañadas de irregularidades en su morfología (Schweitzer et al. 1990).

El análisis de los gradientes de intensidad de líneas tanto en elípticas gigantes (Gorgas et al. 1990; Gonzalez 1993), como en enanas (Harbeck 2001), es otra herramienta para estudiar sus poblaciones estelares y abordar cuestiones tales como si las regiones centrales de las dEs son comparables a las partes exteriores de las Es, donde las densidades superficiales de estrellas son similares, o si por el contrario, son más coincidentes para brillos superficiales parecidos o para los mismos valores de dispersión de velocidades.

De nuevo, al igual que en el apartado anterior, queda patente la necesidad de ampliar el número de dEs analizadas, para conocer mejor la formación y evolución de sus poblaciones estelares.

1.5. Distribución espacial

Las galaxias enanas de primeros tipos son las galaxias dominantes en los cúmulos, y, a diferencia de otros tipos más ricos en gas, son relativamente escasas fuera de ellos (Vader y Sandage 1991). Además, esta segregación morfológica es aún más marcada para las galaxias menos masivas. Las dEs más brillantes y nucleadas constituyen verdaderos trazadores de entornos muy densos. Por ejemplo, en el cúmulo de Virgo, las dEs nucleadas, de forma similar a las E, se encuentran más concentradas de lo que están las no nucleadas que siguen una distribución más extendida y más parecida a la que muestran otras galaxias de tipos tardíos (Ferguson y Sandage 1989).

Esta distribución, en principio, podría estar muy afectada por un sesgo observacional, dada la gran dificultad de encontrar galaxias de bajo brillo superficial y aisladas. Sin embargo, recientemente se han llevado a cabo búsquedas específicas tanto en el hemisferio norte, a partir del *Second Palomar Observatory Sky Survey (POSSII)* (Karachentsev et al. 2001), como en el sur (ESO SERC), o en ambos con el Telescopio Espacial (Seitzer et al. 2001), y, tras haber aumentado hasta varios cientos el número de galaxias enanas próximas, se confirma su distribución.

De las 19 elípticas enanas o esferoidales del Grupo Local, nueve están próximas a la Vía Láctea y otras nueve se encuentran agrupadas en torno a M 31 (Van den Bergh 2000). Huchtmeier et al. (2001) aumentan este estudio hasta el Volumen Local de 10 Mpc y, al igual que en el Grupo Local, también encuentran la mayor densidad de galaxias enanas de primeros tipos en el grupo de M 81 y en el de Centauro (NGC 5128). Hay que resaltar que la proporción de enanas que están ligadas a gigantes disminuye al aumentar la densidad de galaxias. En efecto, prácticamente todas las dEs de campo están asociadas a alguna gigante, mientras que en el cúmulo de Virgo solamente lo están un pequeño porcentaje de ellas (Ferguson 1992). Además, mientras que la proporción entre gigantes y enanas se mantiene dentro del mismo cúmulo, la proporción entre espirales y elípticas aumenta con la distancia al centro.

En los cúmulos más próximos, tanto en Fornax (Drinkwater et al. 2001) como en Virgo (Binggeli et al. 1987; Trentham y Hodgkin 2002) las elípticas enanas son las más abundantes. En el cúmulo de Virgo, donde hay catalogadas más de 800 dEs (Binggeli et al. 1985), éstas muestran una distribución de velocidades más dispersa ($\sigma \approx 730 \text{ km s}^{-1}$) que las gigantes ($\sigma \approx 460 \text{ km s}^{-1}$) y con subestructuras más claras, tanto espaciales como en velocidades (Gallagher et al. 2001). En Coma, Edwards et al. (2002) también encuentran diferencias entre la distribución de velocidades de las elípticas enanas y las gigantes, siendo ésta más gaussiana para las primeras, apuntando a una posible mezcla previa de sub-cúmulos. Carter et al. (2002), además de localizar las dEs más brillantes más concentradas hacia el centro del cúmulo, también encuentran un gradiente de metalicidad, aunque de forma generalizada para galaxias de distintos tipos y luminosidades, al medir índices como Mg_2 o $\langle \text{Fe} \rangle$ más intensos en las galaxias que más cerca se encuentran de las regiones centrales

del cúmulo.

De todo lo expuesto se deduce una clara relación entre la morfología de las galaxias y la densidad del entorno, que incluso está más marcada para las galaxias menos masivas (Grebel 2001), lo que quizás sea reflejo de que la evolución de las dE es más sensible al entorno que la de las elípticas clásicas.

1.6. Formación y evolución

Cualquier teoría sobre la formación y evolución de las galaxias elípticas enanas debería poder explicar los distintos fenómenos observacionales, o relaciones conocidas, que se han comentado en apartados anteriores. Entre estas hay algunas muy firmes, como la relación brillo superficial–luminosidad, la relación metalicidad–luminosidad, las variaciones de los perfiles de brillo con la luminosidad, la existencia de poblaciones estelares con un amplio rango de edades, los valores intermedios o altos (para las menos masivas) de la razón masa/luminosidad, o la correlación de la proporción de dEs nucleadas con la luminosidad y con su distribución dentro de los cúmulos. Así mismo hay otras cuestiones más abiertas que necesitan una explicación, como las funciones de luminosidad, el grado de anisotropía de velocidades en cada galaxia, la distribución espacial de estas (proporción entre enanas y gigantes o entre distintos tipos según la densidad de galaxias), o posibles relaciones de la M/L con la luminosidad o con el entorno.

De forma generalizada se acepta que la formación de las galaxias empieza en las condiciones especiales de las primeras etapas del universo a partir del colapso gravitatorio de las fluctuaciones de densidad primordiales, el enfriamiento del gas y la consecuente formación estelar (White y Frenk 1991). En los modelos dominados por materia oscura y fría (CDM), se ve favorecida la formación de galaxias poco masivas, porque el tiempo de enfriamiento para los halos de galaxias enanas que colapsan en una época $z \simeq 3 - 10$, es corto en comparación con el de caída libre. Así el enfriamiento es muy eficiente formando por tanto una gran cantidad de enanas, lo cual coincidiría con el hecho de que las dEs sean el tipo de galaxias más abundantes. Sin embargo, las predicciones de estos modelos para la función inicial de masas (Blanchard et al. 1992), conducen a una pendiente ($\alpha = -2$) demasiado alta en comparación con las funciones de luminosidad que se observan en los cúmulos estudiados, en los que se encuentra que $\alpha \simeq -1.3$. Esta diferencia plantea el problema conocido como *sobreenfriamiento*. Por lo que, si las predicciones de los modelos CDM son correctas, han debido estar presentes otros fenómenos que, o bien han frenado el enfriamiento durante el colapso, o bien han tenido que eliminar parcialmente la gran cantidad de galaxias enanas formadas. Se han sugerido varios mecanismos que pueden disminuir la creación de estas galaxias o suprimir la formación estelar en ellas. Entre los agentes externos a la propia galaxia estaría la fotoionización por el campo de radiación metagaláctico (Babul y Rees 1992; Efstathiou 1992), ya que

para $z > 1$ el fondo ionizante es suficientemente intenso como para mantener el gas confinado en los halos pero incapaz de colapsar y formar estrellas. Igualmente, distintos efectos (Blanchard et al. 1992) podrían recalentar el medio intergaláctico, de forma que tan solo se formarían galaxias con temperaturas de virial superiores a la del medio, lo cual daría lugar a una función de masas menos pronunciada, con una pendiente más parecida a la que se observa actualmente. También se han apuntado otros procesos menos probables como una alta tasa de fusión entre galaxias en las épocas más tempranas (Blanchard et al. 1992), inestabilidades o turbulencias en el gas que dificultarían el colapso global o bien afectarían muy significativamente la función inicial de masas estelar (Murray et al. 1993), o quizás el desprendimiento del gas por el propio desplazamiento a través del medio intergaláctico, aunque las pequeñas velocidades aleatorias de las galaxias en la época de su formación lo harían poco efectivo.

Las correlaciones de brillo superficial y metalicidad con la luminosidad parecen favorecer el que sean procesos internos en cada galaxia, más que agentes externos, los que reducen la formación estelar, siendo además los mecanismos más lentos los más efectivos para sustraer el gas (Ferguson y Binggeli 1994). De aquí que la escala de tiempo en la evolución de cada galaxia afecte, tanto en la metalicidad global y su posible gradiente, como al ritmo de enriquecimiento en metales del medio interestelar (Theis et al. 1992). Otro aspecto a tener en cuenta, es la pendiente de la función inicial de masas estelar, pues si hay mayor proporción de estrellas masivas, la energía y momento que las estrellas OB pueden depositar en el medio interestelar tendrán gran influencia en el desarrollo de los primeros millones de años de la galaxia (Leitherer et al. 1992). En estas primeras etapas, la propia emisión de fotones ultravioleta ionizantes de esas estrellas OB, pueden mantener el gas con temperaturas del orden de 1000 K, lo cual ralentizaría la formación estelar (Lin y Murray 1992). Pero el mecanismo que más influye para regular la formación estelar, y desde luego el más estudiado, es la retroalimentación por parte de las supernovas. Estas, además de gobernar el enriquecimiento metálico del medio interestelar, también son responsables del aumento de energía cinética que posiblemente producirá una expulsión parcial o total del gas que contiene la galaxia. De esta forma, las supernovas regulan la formación estelar, tanto en las propias abundancias, como por la modificación de la cinemática del medio interestelar. El otro factor, de similar importancia, que puede equilibrar estos procesos es la presencia de materia oscura. Su efecto gravitatorio va a favorecer la concentración de bariones en el centro de la galaxia y, por tanto, tenderá a aumentar la formación estelar y enriquecer el medio. Así pues, el ritmo de supernovas y la proporción de materia oscura y su distribución parecen determinar la historia de la formación estelar, así como la cantidad de gas que retiene la galaxia y la metalicidad de este o la fracción que se expulsa. Los modelos de Ferrara y Tolstoy (2000) que contrastan estos parámetros con las observaciones de amplias muestras de galaxias enanas, así como algunos casos detallados de esferoidales del Grupo Local, apuntan a que las galaxias con masas inferiores a $5 \times 10^6 M_{\odot}$ pueden perder todo su contenido en gas, y que hay una expulsión parcial hasta $10^9 M_{\odot}$,

siendo las galaxias con una masa total de $\approx 10^8 M_{\odot}$ las que más contribuyen con su gas al medio intergaláctico. Además, dichos autores encuentran que para una masa visible total dada, las galaxias con mayor proporción de materia oscura también son las más metálicas.

Con el fin de explicar cómo han evolucionado las galaxias enanas desde su numerosa formación inicial, hasta las abundancias y proporciones entre los distintos tipos que actualmente se observan, se han planteado varios escenarios. Respecto a las elípticas enanas en cúmulos el primer planteamiento es que se trata de objetos primordiales intrínsecamente viejos que se formaron a la vez que los cúmulos y que han evolucionado de forma pasiva dentro de estos (White y Frenk 1991; Ostriker 1993) de forma similar a como lo han hecho las elípticas más masivas. La existencia de varios episodios de formación estelar, bien conocidos sobre todo en las esferoidales del Grupo Local (Mateo 1998), hace que ésta no sea una explicación válida para las dEs en todos los entornos.

Un segundo escenario es que las dEs proceden de la gran cantidad de galaxias débiles azules con líneas de emisión que se encuentran en las búsquedas con desplazamiento al rojo a $z \sim 1$ (Babul y Rees 1992). Se ha propuesto que si no hay formación estelar posterior, entonces las magnitudes y el brillo superficial de estas galaxias podrían ser similares a las de las dEs actuales y habría una posible conexión evolutiva (Koo et al. 1995). Sin embargo, este escenario presenta varias dificultades, la principal es que muchas de las dE del Grupo Local presentan varios episodios de formación estelar (Mateo 1998), es decir no han evolucionado de forma pasiva. Otra dificultad es que estas galaxias débiles azules pueblan principalmente zonas fuera de los cúmulos, al contrario que las dEs. Además, algunas dE del cúmulo de Virgo son más brillantes que la luminosidad que podrían haber alcanzado estas galaxias azules sin una formación estelar posterior. Por lo que, una evolución estrictamente pasiva de estas galaxias que formaron su población estelar a $z \sim 1$, no podría dar lugar a las dE que observamos actualmente en los cúmulos.

Otra idea es que las dEs evolucionan a partir de las enanas irregulares (Lin y Faber 1983). Aunque esta posibilidad fue ampliamente desarrollada, el problema es que no explica la gran cantidad de dEs que son más masivas, más brillantes y más compactas que las dIs típicas (Bothum et al. 1986; Gallagher y Hunter 1989), teniendo en cuenta que, además, una evolución de dIrr a dE conllevaría un debilitamiento.

Un escenario plausible es que se haya producido una transformación morfológica creando dEs a partir de espirales en cúmulos. Una galaxia espiral que se desplaza dentro de un cúmulo interactúa débilmente con los demás miembros del cúmulo, debido a las altas velocidades relativas entre los distintos sistemas. Pero cuando se produce un encuentro próximo con una galaxia más masiva a estas velocidades, se ocasiona un impulso gravitatorio que aumenta la energía interna de la espiral, facilitando la pérdida de las estrellas que pueblan sus partes más externas, a la vez que también pierde parte del gas por la presión que se ejerce sobre él. Este proceso

(*harassment*) hace que, a partir de 1 Gigaño, la galaxia espiral pierda estrellas y gas de forma significativa y que en periodos más largos se llegue a transformar en un sistema esferoidal (Moore et al. 1998). Esta teoría predice que las espirales mayores se convertirían en S0s (Moore et al. 1999), mientras que las más pequeñas darían lugar a elípticas enanas.

Puesto que la situación real probablemente sea una combinación de las distintas posibilidades, es importante discriminar que escenario evolutivo es el que ha predominado. Es decir, es fundamental diferenciar entre los escenarios que predicen que las galaxias enanas de primeros tipos son de las primeras en formarse y, por lo tanto, albergan poblaciones estelares viejas, y los que, por el contrario, predicen que una fracción importante de dEs procede de transformaciones morfológicas. Una forma de hacerlo es analizar la distribución espacial y de velocidades de estas galaxias en los cúmulos. Conselice et al. (2001) encuentran que las enanas de primeros tipos del cúmulo de Virgo tienen mayor dispersión en estos parámetros que las elípticas gigantes, que muestran una distribución más virializada. Esto, junto con la existencia de subestructuras espaciales, es un argumento a favor de que una gran parte de las dEs no son miembros originales del cúmulo, si no que proceden de la transformación de otras galaxias que han sido agregadas. Drinkwater et al. (2001b) llegan a las mismas conclusiones analizando la dispersión en las velocidades de las elípticas enanas y gigantes del cúmulo de Fornax, sugiriendo incluso que algunas galaxias siguen cayendo actualmente al cúmulo. De forma similar, en el cúmulo de Coma las dE también muestran una distribución de velocidades diferenciada de las gigantes cuando se estudia el cúmulo de forma global (Edwards et al. 2002). Sin embargo, estas diferencias no son tan evidentes cuando se analizan las subestructuras del cúmulo de forma independiente, lo cual sugiere que se han mezclado varios cúmulos más pequeños para dar lugar a la estructura que observamos actualmente.

Evidentemente, una forma directa de discriminar entre los dos escenarios generales expuestos (miembros primordiales de los cúmulos frente a el resultado de transformaciones morfológicas) es analizando en detalle las poblaciones estelares de las dE con el fin de comparar sus propiedades, en particular sus edades y metalicidades, con las medidas para las elípticas más masivas. Este es uno de los objetivos del presente trabajo.

1.7. Objetivos y esquema de este trabajo

Aunque las galaxias elípticas enanas constituyen la población dominante en los cúmulos cercanos y además son las piezas básicas con las que se han formado galaxias más masivas en el escenario de los modelos jerárquicos, sin embargo, aún no se ha realizado un estudio sistemático de las poblaciones estelares de estas galaxias fuera del Grupo Local. De hecho, aún no conocemos ni su origen ni su naturaleza.

Con el trabajo presentado en esta memoria hemos llevado a cabo un estudio espectroscópico de una muestra de dE en el cúmulo de Virgo. El objetivo general

es comparar las propiedades cinemáticas y las poblaciones estelares de las dE con las de las elípticas clásicas. Así, podremos estudiar si las dE son una extensión de las E hacia luminosidades menores, o si por el contrario, se trata de objetos diferentes que han sido el resultado de distintas historias de formación y evolución. Igualmente, se analiza si existe realmente una dicotomía en las poblaciones estelares de estos dos tipos de galaxias. Además, la interpretación de estos resultados nos permitirá conocer si las dE son miembros primordiales de los cúmulos o si, por el contrario, son el resultado de efectos de interacción con el medio.

En la muestra de galaxias observadas se han incluido algunas elípticas gigantes que nos servirán como referencia, tanto en algunos pasos de la reducción, como en el análisis de los datos. También se han ampliado las observaciones a una submuestra de E compactas (cE). El estudio de las poblaciones estelares de estas galaxias como tipo claramente diferenciado, es algo que no se ha hecho anteriormente de forma sistemática y, nos permitirá en algunos casos una mejor interpretación de las relaciones de las poblaciones estelares de las galaxias elípticas en general, con sus parámetros globales o estructurales, ya que las cE suelen desviarse u ocupar posiciones diferenciadas en estas relaciones.

Este trabajo se ha llevado a cabo estudiando tres aspectos principales:

- Cinemática de las dEs.

Se han medido la velocidad radial y dispersión de velocidades centrales en las galaxias de la muestra. Hay que tener en cuenta que estos valores, además de su propio interés como parámetros fundamentales de las galaxias estudiadas, también son necesarios para la medida adecuada de los índices de intensidad de líneas y que en algunos casos se han obtenido por primera vez. Además, en las observaciones con rendija larga, se han medido estas velocidades alejándonos de las regiones centrales, generalmente a lo largo del eje mayor. Estas medidas de perfiles de dispersión de velocidades y curvas de rotación nos han permitido estudiar en que proporción están soportadas por rotación las dE.

- Poblaciones estelares en las regiones centrales.

Mediante la medida de los índices de intensidad de líneas en las regiones centrales de las galaxias y su comparación con las predicciones de los modelos de síntesis de poblaciones, se obtienen estimaciones de la edad y la metalicidad globales de la población estelar, así como de las abundancias relativas entre distintos elementos, en esas regiones centrales. El conocer estos valores, además nos permitirá poner restricciones a la historia de la formación y evolución de estas galaxias. Hay que resaltar que mediante este estudio de las poblaciones estelares vamos a poder evaluar si las dE son la extensión de las elípticas clásicas o se trata de objetos diferenciados. También se estudia las posibles relaciones entre estas características de las poblaciones estelares y otros parámetros estructurales como la dispersión de velocidades o la luminosidad.

- Gradientes de poblaciones estelares.

El estudio de las poblaciones estelares a lo largo del radio de las galaxias nos permitirá conocer mejor su naturaleza, ya que los posibles gradientes son una medida de en que proporción fue efectiva la disipación del gas durante la formación de la galaxia y de que posibles interacciones ha sufrido en su evolución posterior. Por este motivo, se han medido todos los índices del sistema de Lick que están dentro del rango espectral observado y hasta las distancias radiales que ha sido posible, por tener suficiente señal en los espectros, generalmente hasta el radio efectivo.

En el capítulo dos se presentan la muestra de galaxias y las campañas de observación realizadas. Así como el proceso de reducción, describiendo con mayor detalle los pasos más delicados de este. Hay que tener en cuenta que muy frecuentemente estamos tratando con espectros con poca señal dado el bajo brillo superficial de las dE. Por esto, ha sido necesario llevar un control exhaustivo de los errores en las medidas y la variación de estos en cada paso del proceso. En el tercer capítulo se lleva a cabo el análisis de los espectros para la obtención de los datos requeridos, empezando por la medida de velocidades radiales y dispersión de velocidades, y continuando con la medida de los índices de intensidad de líneas y su transformación al sistema de Lick. En el cuarto se acomete el estudio cinemático, midiendo además de los valores en las regiones centrales de las galaxias, los perfiles de dispersión de velocidades y curvas de rotación, así como los correspondientes parámetros de anisotropía. Los índices de intensidad de líneas en las regiones centrales de las galaxias se estudian en el quinto capítulo, tanto mediante los diagramas índice–índice, como representandolos frente a la dispersión de velocidades y, sobre todo, para obtener los valores de edad y metalicidad globales de las poblaciones estelares. En el sexto se analiza el comportamiento de estos índices a medida que nos alejamos del centro de las galaxias mediante la medida de los correspondientes gradientes y de su interpretación como variación de la edad o la metalicidad de la población estelar. Por último, en el séptimo capítulo se relacionan las principales conclusiones obtenidas en los anteriores.

Capítulo 2

Observaciones y reducción de datos

Dado que el objetivo de esta tesis es el estudio de la cinemática y las poblaciones estelares en galaxias elípticas enanas mediante el análisis de sus características espectrales, se han llevado a cabo observaciones espectroscópicas de una muestra significativa de estas galaxias. En este capítulo se describen las diferentes campañas de observación realizadas, así como los procesos de reducción seguidos para obtener los espectros finales.

2.1. Campañas de observación

Con el fin de obtener los espectros necesarios para este trabajo se realizaron seis campañas de observación en cuatro telescopios distintos. En la tabla 2.1 se presentan estas campañas, junto con los correspondientes parámetros instrumentales más relevantes. Además de la fecha y el telescopio, se muestran los espectrógrafos, detectores y redes de difracción utilizadas, así como la anchura de las rendijas elegidas. Igualmente se incluyen la escala espacial, dispersión y resolución espectral obtenidas con estas configuraciones y el rango espectral seleccionado.

Las cuatro primeras campañas fueron observaciones espectroscópicas de rendija larga. Nos permitirán por tanto, analizar, tanto los valores centrales de diferentes parámetros, como las variaciones de estos a lo largo del radio, es decir, sus gradientes. En cambio, las dos últimas campañas se llevaron a cabo con un espectrógrafo multi-fibras, que tiene la ventaja de poder observar decenas de objetos simultáneamente, pero con el cual sólo se obtiene el espectro de la zona donde se posiciona la fibra. En nuestro caso, siempre se hizo coincidir con los centros de las galaxias.

Tabla 2.1: Descripción de las campañas de observación en las que se obtuvieron los espectros de la muestra de galaxias.

	campana 1	campana 2	campana 3
fechas de observación	11–15 Abril 94	3 Marzo 95	15–16 Enero 96
telescopio	INT 2.5m	INT 2.5m	CAHA 3.5m
espectrógrafo	IDS	IDS	TWIN
detector	EEV5	TEK3	TEK12
red	R900V	R632V	T05
dispersión	1.04 Å/pixel	0.75 Å/pixel	0.86 Å/pixel
rango espectral	4741–6055 Å	3669–4440 Å	4673–5558 Å
resolución espectral	2.5 Å (FWHM)	4.2 Å (FWHM)	1.9 Å (FWHM)
anchura de la rendija	2.0''	2.1''	2.1''
escala espacial	1.32''/pixel	0.66''/pixel	0.90''/pixel

	campana 4	campana 5	campana 6
fechas de observación	5–7 Marzo 97	14–15 Marzo 96	27–28 Abril 98
telescopio	Shane 3.0m (Lick)	WHT 4.2m	WHT 4.2m
espectrógrafo	KAST (dos brazos)	WYFFOS	WYFFOS
detector	Reticon	TEK6	TEK6
red	Grism830 & R1200	R1200B	R1200B
dispersión	1.12 , 1.17 Å/pixel	1.47 Å/pixel	1.47 Å/pixel
rango espectral	3164–4504 , 4402–5840 Å	4020–5600 Å	4005–5540 Å
resolución espectral	2.5,2.9 Å (FWHM)	4.6 Å (FWHM)	3.5 Å (FWHM)
anchura de la rendija	1.0''		
escala espacial	0.78''/pixel		
anchura de las fibras		2.7''	2.7''

2.2. La muestra de galaxias

Aunque el objetivo principal es el estudio de galaxias elípticas enanas, se han incluido también algunas elípticas gigantes, con el fin de tener una muestra de referencia ya que estas han sido estudiadas previamente, bien por otros autores o bien por nuestro propio grupo de investigación. Se amplía la muestra con siete elípticas compactas, ya que además de su propio interés como tipo de galaxias diferenciado, también pueden ser útiles en la comparación entre enanas y gigantes, dado que generalmente sus características ocupan posiciones intermedias entre ambos tipos. Aún teniendo en cuenta las restricciones observacionales que se citan a continuación, se ha intentado que la muestra de dE elegidas cubriera el rango más amplio posible en propiedades fotométricas, como brillo superficial o existencia de una componente nucleada en el centro.

La selección de la muestra a observar con rendija larga se hizo con un primer criterio de elegir dE que no pertenecieran al Grupo Local pero que estuvieran suficientemente cerca para obtener espectros de alta relación señal-ruido. El evitar las

Tabla 2.2: Campos seleccionados para observar con AF2/Wyffos. Se dan las coordenadas centrales y el número de galaxias existentes en diferentes rangos de magnitudes en cada campo de $50' \times 50'$.

Campo	Coordenadas del centro		Distribución en magnitudes						Total
	A.R. (1950)	Dec.	< 14	14–15	15–16	16–17	17–18	18–19	
A	12 23 36	13 18 00	4	1	2	7	7	14	35
B	12 24 10	12 28 30	1	3	5	2	4	7	22
C	12 26 46	12 56 00	4	1	4	4	6	9	28
D	12 30 10	12 48 45	4	1	3	3	7	6	24

galaxias enanas del Grupo Local es debido a importantes dificultades observacionales (tamaños demasiado grandes, brillos superficiales pequeños, contaminación por estrellas de campo, etc ...). Un segundo criterio, fue el poder disponer de medidas previas, fundamentalmente fotométricas, de estas galaxias que nos ayudaran a completar nuestro estudio (Binggeli, Sandage y Tammann 1985; Bender, Burstein y Faber 1993; Binggeli y Cameron 1993).

Para las dos últimas campañas, el hecho de utilizar un espectrógrafo multiobjeto de fibras ópticas, como es AF2/WYFFOS ¹, tiene la ventaja de poder observar tantas galaxias como se encuentren dentro de una región efectiva de unos 50 minutos de arco de diámetro, con las restricciones observacionales lógicas como son el brillo superficial central o la excesiva proximidad entre algunas de ellas. Otra teórica limitación sería el número de fibras pero, en nuestro caso, las aproximadamente 100 fibras disponibles eran suficientes para posicionarlas sobre unas 40 galaxias (caso óptimo como veremos) y utilizar el resto para calcular la intensidad del fondo de cielo.

Las posibilidades y limitaciones comentadas nos llevaron a elegir el cúmulo de Virgo como objetivo natural para aprovechar al máximo estas campañas de observación. Para optimizar la muestra a observar en dichas campañas se llevó a cabo un proceso previo de análisis de la distribución espacial de galaxias en este cúmulo. Partiendo de las coordenadas y magnitudes dadas en el catálogo de Binggeli (1985), buscamos los campos de un grado cuadrado que mayor número de galaxias contuvieran, limitando la muestra a galaxias elípticas de magnitudes integradas más brillantes que $b \sim 19 - 18$. Posteriormente se examinaron los campos seleccionados para procurar que los objetos más interesantes no se situaran cerca del borde del campo de visión. Así se evitaban imprecisiones en el posicionamiento de las fibras por no ser la escala constante en todo el campo, variaciones en la medida de la transmisión del sistema debido al viñeteo, refracción diferencial, etc. Estos efectos reducen el campo efectivo a uno de $50'$ de diámetro. Los cuatro campos seleccionados se muestran en la tabla 2.2.

¹Descripción completa en: <http://www.ing.iac.es/Astronomy/instruments/af2/index.html>

Desafortunadamente, la existencia de algunos problemas técnicos y el que las condiciones atmosféricas no fueron las ideales, mermaron el número de galaxias observadas con señal suficiente como para medir de forma fiable tanto índices como velocidades. Así, la muestra total de galaxias con espectros realmente útiles es la que se relaciona en la tabla 2.3. Como se puede ver en esta tabla, hay galaxias que se han observado en varias campañas para poder comparar los resultados obtenidos.

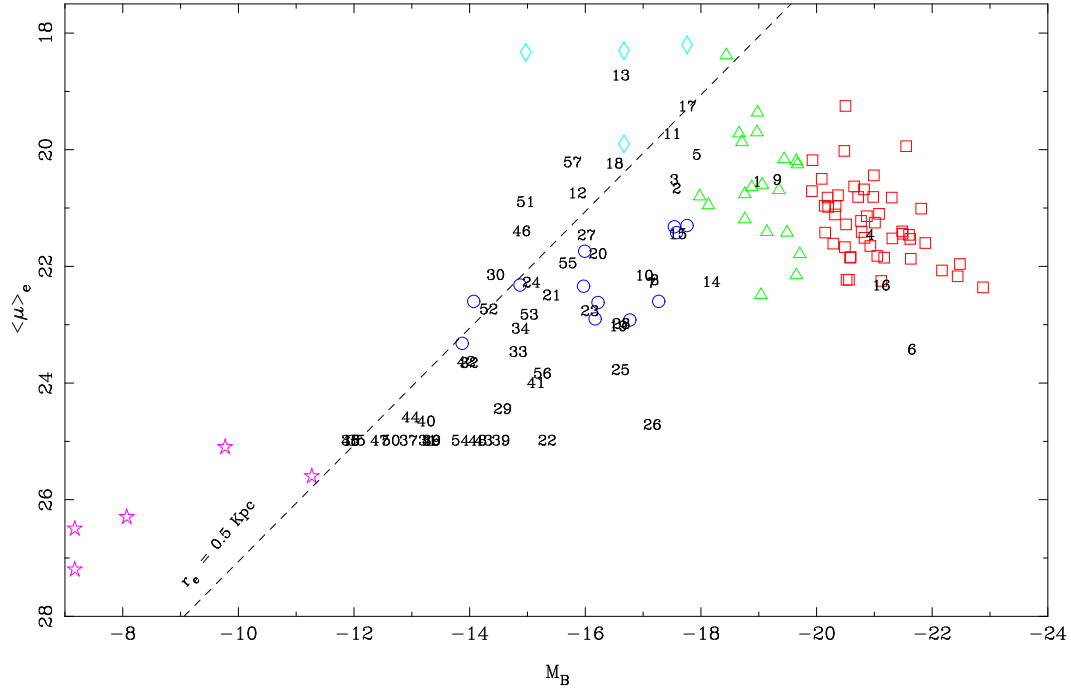


Figura 2.1: Brillo superficial medio dentro del radio efectivo frente a la magnitud absoluta en B. La muestra de galaxias de Bender et al. (1992) se indica con cuadrados rojos para las elípticas gigantes, triangulos verdes para las intermedias, rombos azules para las compactas, círculos azules para las elípticas enanas brillantes y las estrellas moradas para las enanas esferoidales del Grupo Local. La muestra de esta tesis está identificada con la numeración de la tabla 2.3. En la línea $\langle \mu \rangle_e = 25$ se muestran las galaxias para las que no existe información sobre el brillo superficial en la literatura. Con la línea punteada se indica la posición que ocuparían las galaxias con un radio efectivo de 0.5 kpc, quedando a su izquierda las que son más pequeñas.

Con el fin de mostrar, a grandes rasgos, las propiedades de nuestra muestra de galaxias, en la figura 2.1 se han representado en un diagrama $\langle \mu \rangle_e - M_B$ junto con la muestra de Bender et al. (1992). Siguiendo un criterio similar al de estos autores, hemos utilizado la localización de cada galaxia en este plano para clasificarlas. Así, consideraremos elípticas gigantes (g) a los objetos más brillantes, que ocupan la región de sus E gigantes e intermedias y siguen la tendencia de mayor brillo superficial medio para menor magnitud absoluta, y clasificaremos como elípticas enanas (d) a las más débiles y con la tendencia inversa en el plano anterior.

Tabla 2.3: Lista de galaxias observadas. En la tercera columna se da el tipo según el criterio descrito en el texto y en la quinta y sexta el número correspondiente del catálogo del cúmulo de Virgo (Binggeli 1985) y el tipo adjudicado en dicho catálogo. A continuación se muestra el brillo superficial medio dentro del radio efectivo y la magnitud aparente, ambos en la banda B, tomados de Binggeli y Cameron (1993), Prugniel y Heraudeau (1998), o el promedio de estos cuando la galaxia se encuentra en ambas referencias. Si no está en ninguna de las dos, b se toma de *Lyon-Meudon Extragalactic Database* (LEDA), de donde se obtiene también el tamaño de la galaxia como diámetro aparente de la isofota de 25 magnitudes por arcosegundo cuadrado que se da en la columna siguiente. Después se lista la magnitud absoluta en B. Para todas las galaxias de Virgo se ha calculado considerando un módulo de distancia de -30.94 , a partir de la distancia de 15.4 ± 0.5 Mpc dada por Fouqué et al. (2001). Para las otras cinco galaxias M_B se ha tomado de Bender et al. (1992) y corregido para $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1}$. En la última columna se muestra el número de campaña (ver tabla 2.1) en que se observó cada galaxia.

Galaxia	T	A.R. (2000)	Dec.	VCC	Tipo	$\langle \mu \rangle_e$ (mag/□ ²)	b (mag)	D_{25} (")	M_B (mag)	Camp.
1	NGC2694	g	08 56 58.6 +51 19 49		E1	20.56	15.39	20	-18.97	4
2	NGC3605	g	11 16 46.7 +18 01 04		E4-5	20.68	13.19	57	-17.58	3
3	NGC3641	g	11 21 08.7 +03 11 43		Epec	20.53	14.30	56	-17.54	4
4	NGC4374	g	12 25 03.7 +12 53 15	763	E1	21.47	10.01	366	-20.93	5,6
5	NGC4387	g	12 25 41.8 +12 48 42	828	E5	20.10	13.01	101	-17.93	5,6
6	NGC4406	g	12 26 11.8 +12 56 49	881	S0 ₁ (3)/E3	23.44	9.29	618	-21.65	5,6
7	NGC4415	d	12 26 41.0 +08 26 11	929	d:E1,N	22.30	13.80	79	-17.14	1,2
8	NGC4431	d	12 27 26.7 +12 17 28	1010	dS0(5),N	22.25	13.74	89	-17.20	1,2
9	NGC4435	g	12 27 40.6 +13 04 48	1030	SB0 ₁ (6)	20.53	11.62	181	-19.32	5,6
10	NGC4436	d	12 27 41.7 +12 19 00	1036	dE6/dS0,N	22.17	13.92	89	-17.02	5
11	NGC4464	c	12 29 20.7 +08 09 30	1178	E3	19.74	13.44	60	-17.50	4
12	NGC4467	c	12 29 30.4 +07 59 39	1192	E3	20.76	15.08	32	-15.86	4
13	NGC4486B	c	12 30 32.1 +12 29 27	1297	E1	18.74	14.33	17	-16.61	4
14	NGC4489	d	12 30 52.3 +16 45 31	1321	S0 ₁ (1)	22.28	12.76	103	-18.18	1,2
15	NGC4515	d	12 33 04.5 +16 15 55	1475	E2	21.46	13.34	80	-17.60	3
16	NGC5846	g	15 06 29.4 +01 36 25		E0-1	22.34	11.13	228	-21.12	1,2
17	NGC5846A	c	15 06 29.0 +01 35 43		cE2-3	19.27	12.97	170	-17.76	1,2,4
18	IC767	c	12 11 02.8 +12 06 16	32	E4	20.25	14.44	41	-16.50	1,2,4
19	IC794	d	12 28 08.7 +12 05 36	1073	dE3,N	23.04	14.37	77	-16.57	1,2,5
20	IC3303	d	12 25 15.0 +12 42 53	781	dS0 ₃ (5),N	21.80	14.72	55	-16.22	5,6
21	IC3331	d	12 26 05.4 +11 48 44	870	dS0(5),N	22.51	15.52	48	-15.42	5
22	IC3363	d	12 27 03.3 +12 33 30	965	dE7,N		15.64	59	-15.30	5
23	IC3393	d	12 28 41.8 +12 54 57	1122	dE7,N	22.78	14.86	61	-16.08	1
24	IC3443	d	12 31 16.3 +12 19 57	1348	dE0,Npec	22.29	15.87	33	-15.07	5
25	IC3457	d	12 31 51.3 +12 39 27	1386	dE3,N	23.79	14.33	61	-16.61	5
26	IC3475	d	12 32 40.8 +12 46 17	1448	Im/dE1p	24.73	13.78	95	-17.16	5
27	IC3492	d	12 33 20.2 +12 51 04	1499	E3pec/S0	21.48	14.92	38	-16.02	5
28	UGC7436	d	12 22 19.6 +14 45 46	543	dE5	23.00	14.32	74	-16.62	1
29	VCC753	d	12 24 52.0 +13 06 35	753	dE0,N	24.46	16.37	29	-14.57	5
30	VCC765	d	12 25 03.9 +13 14 41	765	dE1,N	22.16	16.49	24	-14.45	5
31	VCC779	d	12 25 13.5 +13 01 31	779	dE0,N	25.00	17.67	11	-13.27	6
32	VCC810	d	12 25 33.9 +13 13 38	810	dE0,N	23.67	16.95	23	-13.99	6
33	VCC815	d	12 25 37.5 +13 08 36	815	dE2,N	23.48	16.10	30	-14.84	6
34	VCC823	d	12 25 39.4 +12 18 54	823	dE0,N	23.08	16.06	35	-14.88	5
35	VCC832	d	12 25 44.2 +12 40 30	832	dE?		18.85	15	-12.09	5
36	VCC833	d	12 25 44.7 +13 01 20	833	dE0,N		17.64	20	-13.30	5,6
37	VCC838	d	12 25 46.5 +12 45 36	838	dE2		17.98	13	-12.96	5,6
38	VCC844	d	12 25 48.9 +13 07 17	844	dE		19.03	13	-11.91	6
39	VCC846	d	12 25 50.1 +13 11 42	846	dE1,N		16.35	26	-14.59	5,6
40	VCC854	d	12 25 55.5 +12 46 12	854	dE8,N	24.67	17.69	16	-13.25	5,6

Tabla 2.3: continuación

	Galaxia	T	A.R.	Dec.	VCC	Tipo	$\langle\mu\rangle_e$	b	D ₂₅	M_B	Camp.
			(2000)				(mag/as ²)	(mag)	(^{''})	(mag)	
41	VCC871	d	12 26 05.8	+12 33 36	871	dE4,N	24.01	15.79	40	-15.15	5,6
42	VCC872	d	12 26 06.3	+12 51 40	872	dE0,N	23.65	17.00	23	-13.94	5,6
43	VCC882	d	12 26 15.1	+12 57 50	882	dE3,N		16.72	50	-14.22	5,6
44	VCC896	d	12 26 22.5	+12 47 11	896	dE3,N	24.60	17.96	15	-12.98	5,6
45	VCC903	d	12 26 27.3	+12 55 14	903	dE2,N		19.04	10	-11.90	6
46	VCC916	d	12 26 33.3	+12 44 30	916	dE1,N	21.41	16.04	26	-14.90	5,6
47	VCC996	d	12 27 21.2	+13 06 41	996	dE5		18.53	18	-12.41	6
48	VCC1035	d	12 27 42.2	+12 05 23	1035	E4		16.76	27	-14.18	5
49	VCC1040	d	12 27 44.6	+12 59 01	1040	dE3,N		17.60	16	-13.34	6
50	VCC1059	d	12 28 00.9	+11 57 00	1059	dE6,N		17.91	20	-13.03	5
51	VCC1148	c	12 28 58.2	+12 39 37	1148	E0	20.91	15.97	24	-14.97	4
52	VCC1353	d	12 31 19.8	+12 44 15	1353	dE2,N	22.75	16.61	25	-14.33	5
53	VCC1389	d	12 31 51.6	+12 28 57	1389	dE2,N	22.84	15.91	31	-15.03	5
54	VCC1414	d	12 32 07.7	+12 50 21	1414	dE4?,N		17.09	19	-13.85	5
55	VCC1491	d	12 33 14.1	+12 51 30	1491	dE2,N	21.96	15.24	52	-15.70	5
56	VCC1539	d	12 34 06.3	+12 44 29	1539	dE0,N	23.85	15.68	34	-15.26	5
57	VCC1627	c	12 35 37.0	+12 22 59	1627	E0	20.23	15.16	26	-15.78	4

El límite entre ambos tipos no está claramente definido y, aunque podría situarse en $M_B \sim -18$, hay algunos casos concretos de difícil clasificación. Por otro lado, se clasificarán como compactas (c) las galaxias con alto brillo superficial y pequeño tamaño. Con este fin se ha trazado la línea que representa un radio efectivo de 0.5 kpc, que es independiente de la distancia. Galaxias a la izquierda de esta línea serán consideradas compactas. Con esta clasificación, nuestra muestra de galaxias elípticas, está compuesta por 8 gigantes, 7 compactas y 42 enanas.

2.3. Reducción de las observaciones

La mayor parte del proceso de reducción de las imágenes se ha llevado a cabo con el paquete RED_mE^{UCE} (Cardiel 1999). Solamente en los pasos necesarios para extraer los espectros de las imágenes tomadas con el espectrógrafo multiobjeto *Wyffos* se considero más adecuado utilizar *wyff-red*. Este es un programa desarrollado explícitamente para este propósito y para este instrumento que está compuesto principalmente de procedimientos que llaman a tareas del paquete de reducción de imágenes astronómicas *Iraf*. RED_mE^{UCE2} es un conjunto de programas *Fortran* homogéneo y autosuficiente para llevar a cabo el proceso completo de reducción de imágenes astronómicas. Está principalmente enfocado a observaciones espectroscópicas de rendija larga y a la medida de las características espectrales que componen el sistema de índices de Lick. Además de algunas ventajas de carácter práctico frente a otros paquetes de reducción (como *Midas*, *Iraf*, *Figaro*, *Vista*, ...), como son la economía de recursos, portabilidad o flexibilidad, hay otras razones de control, precisión y utilidad más importantes que nos han hecho elegir RED_mE^{UCE} para este trabajo. Entre

²Tanto el paquete de programas que lo componen como las instrucciones de instalación y uso se encuentran en: <http://www.ucm.es/info/Astrof/reduceme/reduceme.html>.

estas hay que destacar el tratamiento adecuado de los errores aleatorios mediante el procesado en paralelo de imágenes de datos y de errores. El conocimiento profundo de cada algoritmo utilizado en los distintos pasos de reducción permite emplear siempre los parámetros adecuados, evitando las incertidumbres asociadas a usar tareas que funcionan como cajas negras. Por último, REDUCE ofrece la posibilidad de medir, directamente en los espectros reducidos, los índices de intensidad de líneas y evaluar cada una de las fuentes de error en estos.

En cada campaña, además de las imágenes espectroscópicas de las galaxias, se tomaron las correspondientes imágenes de calibración: *bias*, *darks*, *flatfields* y arcos de comparación. También se observaron estrellas estándares espectrofotométricas, para la calibración en flujo relativa, y una serie de estrellas de la librería de Lick/IDS (Gorgas et al. 1993; Worthey et al. 1994) de distintos tipos espectrales y clases de luminosidad. Estas últimas nos permitirán poner las medidas de los índices en el mismo sistema y llevar a cabo además un análisis de los errores (ver sección 3.2.2).

2.3.1. Observaciones de rendija larga

Los pasos llevados a cabo en el proceso de reducción son los típicos de observaciones espectroscópicas de rendija larga y se detallan en los siguientes apartados, comentando las peculiaridades de las distintas campañas de observación.

(i) *Generación de imágenes de errores.* Antes de comenzar el procesado de las imágenes, y de forma general para todas ellas, se generan sus correspondientes imágenes iniciales de errores. Para esto, en cada pixel se calcula una varianza $\sigma_c^2[i, j]$ que viene dada por la expresión

$$\sigma_c^2[i, j] = \frac{1}{g} N_c[i, j] + \sigma_{RN}^2[i, j], \quad (2.1)$$

donde $N_c[i, j]$ es el número de cuentas en la imagen bidimensional original (restando el valor de *bias*), g es la ganancia (en e^-/ADU) y σ_{RN} es el ruido electrónico originado en la lectura del detector (en ADUs). La ganancia, que es el factor de transformación de número de electrones en número de cuentas, se ha tomado de los manuales de cada instrumento. Tan sólo para las campañas más recientes se ha calculado su valor usando el programa **gain** de REDUCE que utiliza varias imágenes de *flatfield* y mide la pendiente al representar el inverso de la varianza frente al número de cuentas promedio en distintas regiones. Como ruido de lectura asignado a cada pixel (unas 4–7 ADUs), siempre se ha tomado la desviación típica de la señal medida en las imágenes de *bias*, obteniéndose valores similares a los indicados en los manuales. Estas imágenes de errores se procesarán en paralelo con las de ciencia a lo largo de toda la reducción, para así llevar un control exhaustivo de su evolución en cada paso y obtener al final valores realistas de los errores en los índices o cualquier otra medida que realicemos en los espectros finales.

(ii) *Eliminación de rayos cósmicos.* Además de los fotones recogidos por el telescopio, a la superficie del detector también suelen llegar durante la observación partículas altamente energéticas que interaccionan con los materiales que lo componen. Estas partículas, normalmente conocidas como rayos cósmicos, producen un incremento en la cantidad de electrones recogidos en cada pixel y por lo tanto, un aumento indeterminado del número de cuentas en un pixel o grupo de pixels, con la consiguiente pérdida de la información previa. Lógicamente, el número de estos sucesos suele aumentar con el tiempo de exposición, llegando a algunos centenares en exposiciones de 20–30 minutos, típicas para las galaxias de este trabajo. Aunque lo lógico sería simplemente identificar los pixels afectados en cada imagen y limitarnos a no utilizarlos, dado que se ha perdido completamente la información existente, en la práctica lo que se hace es sustituir el número de cuentas registrado por un valor estimado a partir de los valores de los pixels adyacentes. Este paso se efectuó con el programa `cleanest` de RED_m^{UCE}. Este ofrece, entre otras, la posibilidad de eliminar los rayos cósmicos de forma semiautomática para las imágenes, o zonas de éstas, poco conflictivas, y de forma más cuidadosa (manualmente para cada rayo cósmico) en las regiones en que se encuentran los espectros de las galaxias. Es conveniente que este sea el primer paso de reducción con todas las imágenes, tanto de objetos como de calibración, para evitar así que los rayos cósmicos se propaguen en las sub-siguientes etapas.

(iii) *Sustracción de la señal de bias y corriente de oscuridad.* En este apartado y alguno de los siguientes se detallan algunas características de la transformación de los fotones, procedentes de cualquier objeto astronómico, en una imagen digital usando detectores CCD (*Charge Couple Device*), y que podemos conocer a partir de imágenes de calibración típicas de cualquier campaña de observación. Por ejemplo, el proceso de leer el CCD, es decir, el convertir el número de electrones, generados por los fotones incidentes en una determinada región del detector (*pixel*), en una cantidad de unidades digitales (ADUs o *cuentas*), hace necesario el uso de unos componentes electrónicos que tienen asociado su propio ruido. El resultado es que a partir de una situación teórica en la que tuviéramos el mismo número de electrones en todos los *pixels* del CCD, obtendríamos una imagen en la que el número de cuentas variaría de un pixel a otro siguiendo una estadística de Poisson. Estas variaciones o *ruido de lectura* pueden ocasionar que en una imagen (o región de esta) a la que no ha llegado señal, se obtenga un número de cuentas negativo. Para evitar esto, la electrónica en el proceso de lectura añade una cantidad de cuentas que conocemos como valor de *bias*.

En principio, estos valores de *bias* y *ruido de lectura* se podrían obtener en cualquier imagen, a partir de dos regiones que suelen tener los CCDs en sus extremos (*under-* y *over-scan*) a las que no llega la luz recogida por el telescopio. El valor de *bias* sera el número de cuentas promedio en estas zonas y la desviación típica sera el ruido de lectura. En ambos casos se eliminan de la estadística los valores que se desvían más de tres veces la desviación típica. En la práctica, en cada campaña se

Tabla 2.4: Valores de la ganancia, *bias*, ruido de lectura y corriente de oscuridad para las seis campañas de observación

Campaña	1	2	3	4	5	6
Detector	EEV5	TEK3	TEK12	Reticon	TEK6	TEK6
Ganancia (e^-/ADU)	0.75	0.7	4.5	3.66/3.8	2.1	2.1
Bias (ADUs)	4170.1/601.2	867.11	104.6	0/1	886	997.6
Ruido de lectura (ADUs)	6.06/6.23	6.04	1.9	1.75/2.25	3.33	3.44
Corr. oscuridad (ADU/s.)	3.0×10^{-3}	3.6×10^{-3}	1.1×10^{-4}	—	—	—

han tomado imágenes con tiempo de exposición cero, es decir, se leyó el detector sin llegar a abrir el obturador. Se comprobó que, en la mayoría de los casos se obtenía una señal en la zona útil del CCD que no coincidía exactamente con las zonas de *under-over-scan*, como era de esperar. En la campaña 1 aparecen unas líneas horizontales que tienen sistemáticamente unas pocas cuentas más que el resto de la imagen. En la campaña 2 el extremo izquierdo es algo más intenso y en las campañas 3 y 4 también aparece una estructura en las imágenes de *bias*. Igualmente, se apreció en alguna campaña que el nivel medio de cuentas en las zonas de *under-over-scan* aumentaba ligeramente cuando era alta la señal recibida en la zona útil del CCD. Aunque estas peculiaridades de la electrónica de lectura no son deseables, la parte positiva es que fueron estables a lo largo de cada campaña, y por tanto, se pudieron corregir estos patrones aditivos generando una imagen que reproducía la estructura de peine en la campaña 1 y ajustando a funciones suaves en dos dimensiones las estructuras de las otras campañas. Una vez corregidas las propias imágenes de *bias* de estos defectos, se pudieron medir, de forma más precisa, en ellas los valores que se presentan en la tabla 2.4. En la campaña 1 aparecen pares de valores porque parte de las observaciones se hicieron sumando la señal cada dos pixels (*binning*) en la dirección espacial, lo que produce un valor de *bias* distinto y un aumento en el ruido de lectura. En la campaña 4 los pares de valores corresponden a brazo azul y rojo respectivamente.

Todo esto pone de manifiesto la clara necesidad de tomar una serie de imágenes de *bias* cada día dentro de la campaña de observación. Por un lado, porque así conoceremos posibles variaciones en el comportamiento del detector a lo largo de la campaña, debidos a variaciones de temperatura, imperfecciones en la electrónica o cualquier otro efecto desconocido. Por otro lado, porque el restar una constante (valor de *bias*) a nuestras imágenes de objetos no aumenta el error o ruido en éstas, pero si lo hacemos cuando sustraemos otra imagen que tiene su propio ruido. Este ruido disminuye como la raíz cuadrada del número de imágenes cuando las promediamos. Posteriormente, a todas las demás imágenes de estas campañas se le restaron los valores de *bias* calculados y las *imágenes de bias* generadas.

Otro efecto que suele aparecer en los CCDs es el ligero aumento del nivel medio

de cuentas, por encima del valor de *bias*, o *corriente de oscuridad* con el tiempo de exposición, aunque no se haya abierto el obturador. Esto puede deberse a efectos térmicos en el entorno del detector, que no son frecuentes cuando estos se mantienen continuamente en torno a los $160^0 - 170^0 K$, que es la temperatura habitual, pero que si se evidencian claramente cuando ésta aumenta. También puede producirse cuando existe algún defecto en el diseño del espectrógrafo o del propio soporte o contenedor del detector que posibilitan el que algo de luz indeseada llegue al CCD.

Esta corriente de oscuridad es menos frecuente, o menos intensa, en los detectores más nuevos. Pero estos pequeños aumentos de señal no se detectan fácilmente en las imágenes de objetos. Por esto, en todas las campañas se tomaron *bias* de 1800 o 3600 segundos (*darks*). Esto nos permite medir su intensidad y, considerando que sea lineal con el tiempo, corregir las demás imágenes escalándola al tiempo de exposición de cada una. Aunque en general es una señal muy débil ($\sim 10^{-3}$ ctas/s.) y en alguna campaña totalmente despreciable, de forma automática se resto a todas las imágenes.

(iv) *División por imágenes de flatfield*. Una característica intrínseca de cada detector es el hecho de que cada uno de los pixels que lo componen tienen una diferente sensibilidad. En principio, estas variaciones de la respuesta de cada pixel se podrían medir perfectamente si sobre todos ellos hacemos incidir un frente plano y homogéneo (*flatfield*) de luz, de forma que a todos ellos llegue la misma intensidad. Con esta intención, se suele disponer en el interior del espectrógrafo de una lámpara (normalmente de tungsteno) que proporciona un espectro sin líneas de emisión en el rango de longitudes de onda en el que estamos observando. En ausencia de esta lámpara interna, se puede iluminar el interior de la cúpula con una halógena y apuntar el telescopio a la parte más plana de esta o a alguna pantalla que se haya instalado a este efecto. El inconveniente de este tipo de *flatfields* es que la luz que llega al detector no ha seguido el mismo camino óptico que la que procede de los objetos astronómicos y su distribución, o perfil espacial, debido al propio diseño de telescopio más espectrógrafo, es diferente. La forma de mejorar esto, lógicamente, es tomar imágenes del fondo de cielo. Y para evitar el perder tiempo de la parte oscura de la noche, y además tener una señal suficientemente alta en exposiciones no muy prolongadas, se hacen observaciones durante los crepúsculos.

Para corregir de las variaciones de sensibilidad en los pixeles del detector, en cada campaña se tomaron una cantidad significativa (> 10) de *flatfields* de lámpara interna durante el día y *flatfields* de crepúsculo todos los días en que fue posible. De los *flatfields* de lámpara, una vez promediados y restado el valor e imagen de *bias* y la corriente de oscuridad, se extrajo un espectro promedio (fila) de la zona central. Al dividir la imagen promediada de *flatfield* por este espectro se quitó la forma espectral de la lámpara. Posteriormente se extrajo una columna promedio (dirección espacial) y se dividió por ella la imagen resultante del paso anterior. El resultado es una imagen normalizada a la unidad cuyas desviaciones representan las diferencias en sensibilidad de cada pixel. Al dividir las imágenes de estrellas o

galaxias por ella se corrige de las variaciones de alta frecuencia o respuesta pixel a pixel del detector.

Para algunas campañas se detectaron reflejos en los *flatfields* y anomalías en la forma en que fue iluminado el detector. Para obtener el *flatfield* normalizado en estos casos, en lugar de dividir por el espectro y la forma espacial promedios, se procedió a generar una imagen suavizada que se ajustara a la forma del *flatfield* promedio. Para dicho ajuste se usaron diferentes métodos. Por ejemplo, en la campaña 2 se ajustaron perfiles espaciales y espectrales a diferentes zonas separadas, uniéndolas después con variaciones graduales en las zonas de intersección. En la tercera campaña se creó una superficie ajustando con polinomios de distinto orden en diferentes zonas (*splines*), optimizando en cada dirección tanto el número de nodos como la separación entre ellos. En la cuarta, sin embargo, se consiguió un mejor ajuste pasando un filtro de mediana al *flatfield* promedio.

Una vez corregidas las variaciones de alta frecuencia, se usaron las imágenes de *flatfields* de crepúsculo para corregir las variaciones a gran escala, o de baja frecuencia. Aunque, en principio, los espectrógrafos están diseñados para que la luz recogida por el telescopio llegue como un frente de onda plano al detector, es decir con una distribución uniforme en la dirección espacial, hay gran cantidad de posibles imperfecciones que pueden dar lugar a que la luz llegue con una determinada estructura espacial que hay que corregir. Esta estructura puede estar originada en mínimos desalineamientos entre espejo primario y secundario del telescopio, en ligeras inclinaciones de las redes de difracción, variaciones en el haz paralelo por reajustes en los colimadores, en los díctricos, en los aplanadores de campo de entrada al detector, etc. Entre las causas más frecuentes está el que los bordes de la rendija no estén totalmente paralelos, tanto por su fabricación inicial, como porque se haya producido crecimiento de cristales con el tiempo que, aunque son microscópicos, en rendijas de décimas de milímetro de anchura producen disminuciones apreciables de la luz transmitida. De todos modos, desde el punto de vista del observador, lo único que importa es que estas estructuras espaciales suelen ser estables en una campaña de observación, con mínimas variaciones de un día a otro, y que por lo tanto, pueden ser reproducidas perfectamente con los *flatfields* de crepúsculo. Para realizar esta corrección, en cada día de cada campaña se tomaron imágenes de crepúsculo, se promediaron y se normalizaron, dividiéndolas por un espectro promedio extraído de la zona central de estas. Para evitar añadir más ruido, antes de dividir por esta imagen de crepúsculo normalizada, la suavizamos mediante el ajuste de *splines* en dos direcciones. En algunas campañas se observó que la distorsión C (ver más adelante) era bastante significativa y las líneas de emisión del cielo en las imágenes de crepúsculo aparecían claramente torcidas. Para evitar introducir residuos en la imagen normalizada, antes de dividir el *flatfield* de crepúsculo promedio por su espectro central, hicimos correlación cruzada de este con cada uno de los espectros individuales de la imagen, obteniendo así la forma de la distorsión C, o desplazamiento en la dirección espectral, en función de la posición en la dirección espacial. Al aplicar esta distorsión al normalizar el *flatfield* de crepúsculo se reducen claramente las

variaciones de señal en pixels adyacentes en los extremos de la imagen, facilitando el ajuste a una superficie suave.

(v) *Corrección de distorsión C, calibración en longitud de onda y calculo de la resolución espectral.* Un paso imprescindible en la reducción de cualquier campaña de observación espectroscópica es hacer la calibración en longitud de onda. Es decir, necesitamos saber cuál es la longitud de onda de los fotones que inciden en cada columna del detector, o más precisamente, en cada pixel de cada fila. A este efecto, se toman imágenes de lámparas de comparación, con líneas de emisión en el rango espectral que estamos observando. La luz de estas lámparas puede estar producida por filamentos de metales incandescentes o por gases excitados. En cualquier caso, conociendo los elementos atómicos que las componen, podemos utilizar las longitudes de onda de las correspondientes líneas de emisión tabuladas. Para realizar la calibración de longitud de onda se han utilizado lámparas de cobre-argón en la primera y segunda campañas, de helio-argón en la tercera, de helio-mercurio-cadmio en la cuarta y de argón en la quinta y la sexta.

Idealmente, el centro de cada una de estas líneas debería ocupar una sola columna en las imágenes espectroscópicas. Sin embargo, en la práctica, debido a la dificultad técnica de alinear perfectamente (en los tres ejes) el detector plano respecto de la imagen producida por el espectrógrafo, es muy frecuente encontrar que estas líneas aparecen torcidas y ocupando más de una columna al variar su posición según nos movemos en la dirección espacial. Así, en las imágenes, en lugar de tener una serie de líneas verticales, estas tienen forma de “C” (de aquí el nombre de *distorsión C*) con curvaturas que van variando de un extremo al otro de la imagen. Esta distorsión, que es tan clara en estas imágenes de lámparas de comparación, lógicamente también la sufren las demás y, por tanto, hay que corregirla.

Otro efecto que también suele ser frecuente es que, debido a flexiones tanto en la estructura del telescopio como del propio espectrógrafo, las imágenes pueden desplazarse ligeramente en el detector cuando apuntamos el telescopio en distintas direcciones. Este desplazamiento, que normalmente representa una fracción de pixel y raramente es superior a uno o dos, se puede producir tanto en la dirección espectral como en la espacial.

Todo esto afecta de forma similar a las cuatro primeras campañas. Ya veremos en la siguiente sección las diferencias para las otras dos. Además de series de arcos tomados al principio y final de la noche (para comprobar que el rango espectral es el correcto) siempre se procuró tomar un arco justo antes o después de observar una estrella y un arco antes y otro después de observar una galaxia (con exposiciones largas). El tomar tantos arcos supone utilizar una parte significativa de noche oscura, pero esto es necesario si se quiere tener la precisión necesaria para después medir adecuadamente los índices espectrales y, de forma más crítica para estudiar la dinámica de nuestros objetos.

El primer paso en el proceso de reducción de los arcos fue analizar y corregir la distorsión *C*. Después de realizar una reducción básica de las imágenes (limpie-

Tabla 2.5: Valores de la dispersión, rango espectral, desviación típica de las gaussianas ajustadas a las líneas de los arcos, su anchura a media altura, resolución espectral (en el centro del rango) y escala espacial para las distintas campañas

Campaña	1	2	3	4 (azul)	4 (rojo)	5	6
Dispersión (Å/pix)	1.05	0.75	0.89	1.12	1.18	1.50	1.50
Rango espectral (Å)	4741	3669	4673	3164	4402	4020	4005
	6055	4440	5558	4504	5840	5600	5540
σ (pixels)	1.01	2.39	0.89	0.95	1.05	1.30	0.90
FWHM (pixels)	2.38	5.63	2.10	2.24	2.47	3.06	2.12
Resol. espectral (Km/s.)	61.9	135	46.6	79.7	72.5	125	84.7
Escala espacial (")	1.32	0.66	0.90	0.78	0.78	—	—

za de rayos cósmicos, corrección por las imágenes de *bias* y *flatfields*), se ajustó en cada imagen y a cada línea de emisión un polinomio de orden bajo (2 ó 3) y, posteriormente, se corrigieron (o enderezaron) las imágenes con estos polinómios. Este proceso se repitió las veces necesarias (típicamente dos) hasta obtener variaciones en las posiciones de las líneas, a lo largo de la dirección espacial, del orden de la décima de pixel o inferiores. Estos polinomios de ajuste obtenidos sirven, no sólo para enderezar los arcos, sino también para corregir de distorsión C las imágenes de objetos.

Para llevar a cabo la calibración en longitud de onda, se obtiene en primer lugar, un espectro de cada imagen, sumando todas las filas de estas. Después, en cada espectro se han medido las posiciones centrales de las líneas ajustando su perfil a una gaussiana. Esto permite tener precisiones de la décima de pixel y, a la vez, desechar las líneas que no son claramente simétricas, bien por defectos de la imagen o por tratarse de más de una y estar mezcladas. Idealmente, las posiciones en pixels de las líneas deberían mostrar una relación lineal con los valores de sus longitudes de onda correspondientes. En la práctica, este nunca es el caso y se hace necesario el ajuste mediante un polinomio entre las posiciones en pixels y las longitudes de onda en estos arcos, para después modificar las imágenes astronómicas y poder trabajar mejor con una dispersión lineal y uniforme en todo el rango espectral. El orden de estos polinómios, que suele ser el mismo dentro de cada campaña, ha sido 5 para la primera y la cuarta, 3 para la segunda, y 5 y 3 para los brazos azul y rojo de la tercera campaña.

Otra utilidad de estas imágenes de arcos es que permite calcular la resolución espectral. Es decir, podemos medir fácilmente en estas imágenes cual es la mínima separación entre dos líneas en los arcos o de dos características en el espectro de una estrella o galaxia, para poder separarlas. Este poder de separación depende de la configuración instrumental que se está utilizando, principalmente de la anchura de la rendija que se use. Para medir la resolución se ajustan gaussianas a las líneas de los arcos.

Todos los valores medidos en esta parte del proceso de reducción de las distintas campañas se muestran en la tabla 2.5.

(vi) *Corrección de extinción atmosférica e interestelar.* Es bien sabido que la extinción atmosférica varía según la longitud de onda, siendo mayor en el azul que en el rojo. Su valor promedio muestra variaciones estacionales, así como una dependencia con la altura y latitud del observatorio. Aunque variaciones locales (o temporales) en la humedad relativa, abundancia de aerosoles, o simplemente, polvo, pueden dar lugar a cambios mayores que los anteriores. Por todo esto, los observatorios suelen ofrecer una tabla (curva de extinción) que estima la extinción en magnitudes por masa de aire en función de la longitud de onda.

En nuestro proceso de reducción se ha aplicado esta corrección a todos los objetos aumentando la señal de los espectros en la cantidad calculada a partir de estas curvas y según la longitud de onda. En alguna campaña, al no disponer de esta curva o ser muy imprecisa, hemos calculado la curva teórica a partir de las expresiones de Hayes y Latham (1975). La curva obtenida suele ser muy parecida con la ofrecida por algún observatorio. La masa de aire suele estar registrada en las cabeceras de las imágenes y, en caso contrario se ha calculado a partir de las coordenadas del objeto, las del observatorio y el momento de observación. Este cálculo también ha sido necesario para obtener el valor medio en las exposiciones largas.

Respecto a la extinción interestelar, para las estrellas observadas, al ser todas de la vecindad local, se ha considerado despreciable. Para aplicar la correspondiente corrección a las imágenes de las galaxias, se ha utilizado la curva promedio publicada por Savage y Mathis (1979) y los excesos de color $E(B-V)$ obtenidos de los mapas de Burstein y Heiles (1982). Tan sólo para la última campaña se utilizaron los excesos de color de Schlegel et al. (1998) por ser más precisos.

(vii) *Corrección de distorsión S.* Cuando observamos un objeto extenso, como una galaxia, a través de la rendija del espectrógrafo, idealmente toda la luz procedente de cada elemento en la dirección espacial debería quedar alineada a lo largo de las mismas filas en el detector. En la práctica, debido a la propia configuración del espectrógrafo y el detector, esto normalmente no es así y es necesario desplazar ligeramente a lo largo de la dirección espacial (columnas) los diferentes espectros. La forma de hacerlo, es buscar la posición del máximo en cada columna ajustando a una función de tipo gaussiana, suavizar los resultados con un polinomio, y desplazar toda la señal dentro de esa columna lo suficiente para que el máximo, o centro de la galaxia, coincida con el centro de una fila común para toda la imagen. En la mayoría de las imágenes el desplazamiento ha sido de un pixel, o fracción de este, para todo el rango espectral. Hay que señalar que desplazar la señal no es simplemente trasladar al pixel contiguo una fracción del número de cuentas proporcional a la fracción de pixel que queremos desplazar. Por el contrario, hay que tener en cuenta la discretización de la señal en pixels, así como el propio perfil espacial, y llevar a

cabo el desplazamiento de una forma optimizada tal y como se describe en Cardiel (1999). Con este proceso de corrección de la curvatura del muestreo espacial, o *distorsión* S , se consigue, por un lado obtener perfiles simétricos en cada imagen para todo el rango espectral (lo que facilitará la medida de gradientes), y, por otro, poder sumar distintas imágenes de la misma galaxia haciendo coincidir de forma mucho más precisa la distribución espacial de estas.

(viii) *Sustracción del cielo*. En cualquier imagen astronómica, junto con la luz procedente del objeto también se registra la que procede del fondo del cielo. Para el rango espectral de nuestras observaciones el brillo del cielo es de 21 a 22 magnitudes, o más brillante según las condiciones de observación (luna, nubes, etc) Esta es una señal bastante significativa en comparación con el brillo superficial de las galaxias ($21 \text{ mag} < \langle \mu \rangle_e < 25 \text{ mag}$ para las dE de este trabajo), e incluso muy superior al de sus partes más exteriores. De aquí que este paso de la reducción sea tan crítico, dado que puede suponer una importante fuente de error sistemático.

Para objetos puntuales, como las estrellas, o para galaxias poco extensas en comparación con la longitud de la rendija (que suele ser de unos cuatro minutos), la forma de restar el cielo ha sido simplemente estimar su intensidad en los extremos (en la dirección espacial) de la imagen. Para ello se ajusta a un polinomio de bajo orden (generalmente una recta o una constante) la señal en regiones lo más amplias posibles para reducir el error, siempre que no estén contaminadas por la contribución de la galaxia. Para galaxias más extensas esta sustracción se hace más delicada y, según el caso, varios pasos adicionales se han considerado para optimizar el proceso. En la mayoría de las ocasiones se ha ajustado el perfil fotométrico de la galaxia a una ley $r^{1/4}$ (perfil de de Vaucouleurs) para estimar que señal de la galaxia se recibe en los extremos de la imagen. En algunos casos también se ha estimado el nivel de cielo en una imagen a partir de otra (o varias) menos contaminada, próxima en posición y en el tiempo, escalando al tiempo de exposición. Este paso es bastante impreciso por las rápidas variaciones, tanto temporales como espaciales, que puede mostrar el brillo del cielo. Sin embargo se hace imprescindible en imágenes como las que contienen las galaxias NGC 5846 y NGC 5846A (observadas simultáneamente), sin ninguna región en la que poder estimar el nivel del cielo. Para estimar con precisión que contribución de la galaxia existe en las zonas de la imagen que consideramos como cielo, es importante considerar el efecto del perfil instrumental (es decir, la forma en que se distribuye la luz procedente de una zona de la galaxia, como, por ejemplo, el núcleo, sobre toda la superficie del detector). En la primera campaña pudimos medir este perfil instrumental gracias a unas imágenes de una lámpara de continuo tomadas a través de una máscara con una abertura perpendicular a la rendija de $1.5''$ de anchura. Tras deconvolucionar el perfil espacial de las galaxias con este perfil instrumental pudimos estimar que, por ejemplo, de la señal medida a unos $25''$ del centro (según cada caso) tan sólo el 90 % procede de esa región de la galaxia, siendo la contaminación procedente del centro de un 1.4 %. O que, entre la luz dispersa, procedente de toda la galaxia, recibida en una zona a $10''$ y la recibida

a 50'' puede haber una diferencia equivalente al 2 % de la señal del cielo. Todas estas variaciones no se pueden corregir por tratarse de efectos bidimensionales (sólo tenemos en el mejor de los casos información en la dimensión espacial), aunque se pudo comprobar que sólo afectan significativamente a las medidas en los extremos de la galaxia, suponiendo, en esos casos, variaciones de hasta el 3 % en los índices espectrales.

(ix) *Calibración en flujo.* Para el estudio que se ha llevado a cabo no es necesario hacer una calibración absoluta en flujo. Sin embargo, las características espectrales que queremos medir son sensibles a la forma o pendiente del continuo, y la respuesta o sensibilidad del detector (realmente de toda la configuración: telescopio, óptica del espectrógrafo, dicróico, etc) varía con la longitud de onda. Para realizar una calibración relativa en flujo en todas las campañas se han observado varias estrellas estándares espectrofotométricas de las librerías de Massey et al. (1988) y Oke (1990). Para obtener la curva de respuesta en flujo hemos dividido los espectros observados de estas estrellas por los tabulados en la literatura. El cociente se ha suavizado mediante el ajuste de *splines* para evitar las zonas ocupadas por las líneas de absorción propias de estas estrellas, así como las irregularidades de pequeña escala. Cuando se disponía de espectros de varias estándares se han promediado sus correspondientes curvas de respuesta, aprovechando además las diferencias entre ellas para estimar el error en las medidas procedente de la calibración en flujo. Este ajuste una vez normalizado a la unidad será el que utilicemos como curva de respuesta en flujo.

(x) *Extracción de los espectros finales.* A la hora de extraer los espectros individuales de las imágenes hemos de distinguir tres distintas situaciones. Para las estrellas se han sumado siempre el número impar de filas centrales que mejor relación señal-ruido proporcionaba. Para las galaxias, por un lado se extrajo lo que consideramos el espectro central, que corresponde a una abertura central de 4'', sumando los espectros necesarios. Para las dos últimas campañas este espectro central viene dado por la propia anchura de las fibras, es decir 2.7''. Por otro lado, con objeto de medir gradientes en las galaxias de las cuatro primeras campañas, se extrajeron los espectros individuales (una sola fila) a lo largo del radio, sumando tantas filas como fueran necesarias para garantizar una relación señal-ruido mínima de 15.

Un caso particular son las imágenes en las que tenemos simultáneamente las dos galaxias, NGC 5846 y su compañera compacta NGC 5846A que se encuentra tan sólo a 40'' hacia el sur y, por tanto, inmersa en ella. Para poder extraer los espectros de la galaxia compacta se asumió que la gigante es simétrica respecto de su núcleo y se restó, en la zona donde se encuentra NGC 5846A, la contribución de NGC 5846 tomándola de una región equidistante en el lado norte.

2.3.2. Observaciones *Wyffos*

Como ya se ha mencionado, las dos últimas campañas de observación se llevaron a cabo con el espectrógrafo multiobjeto de fibras ópticas que toma las imágenes en el foco primario del telescopio William Herschel de 4.2 metros. A diferencia de las imágenes obtenidas con los espectrógrafos de rendija larga, en las que se obtenía el espectro de distintas regiones de un único objeto, ahora tenemos en cada imagen decenas de espectros de distintos objetos (o de cielo) procedentes de regiones circulares de 2.7" de diámetro.

La reducción de estas imágenes multispectro conlleva algún paso adicional, como el conocer las transmisiones relativas de las distintas fibras o el viñeteo según las posiciones de éstas, el sustraer la luz dispersa producida por un espectro y que puede afectar a los contiguos, la distinta calibración en longitud de onda para cada espectro o el simple proceso de identificar cada espectro en la imagen con la correspondiente fibra, es decir con el objeto observado. Por todo esto, se optó por utilizar *wyf-red*, un programa confeccionado expresamente para la extracción de los espectros multifibras generados por *Wyffos*. Se trata de una tarea de *Iraf* que aprovecha otros procedimientos ya existentes para algunos pasos de la reducción y lleva a cabo el proceso de extracción de espectros teniendo en cuenta las peculiaridades de este espectrógrafo. *Wyf-red* permite llevar a cabo todo el proceso de forma automática o ir paso a paso para examinar los resultados intermedios. En cualquier caso, además de la imagen con los espectros de las galaxias, necesita como entrada las imágenes de *bias*, *flats*, arcos de comparación y exposiciones dedicadas al cielo para medir la transmisión de cada fibra.

El primer paso de *wyf-red* es restar el valor de *bias*, tomándolo de las zonas de *overscan*. También se puede restar una imagen de *bias* (promediada a partir de varias), pero en estas campañas no se aprecia ninguna estructura que lo haga necesario. El paso siguiente, y uno de los más críticos, es trazar las aperturas o definir la localización de cada espectro (posición, anchura y su distorsión en la dirección espectral). Para esto se utiliza cualquier imagen con bastante señal y, en nuestro caso, hemos utilizado los *flats* de crepúsculo. Una vez definidas las aperturas, y a partir de la señal que hay entre estas, se estima la contribución de luz dispersa y, ajustándola con *splines* a una superficie suave, se resta de toda la imagen.

Después hay que calibrar los distintos efectos multiplicativos que afectan a la señal recibida. Estos incluyen por un lado, al perfil instrumental del espectrógrafo y las variaciones pixel a pixel de sensibilidad del detector que, se calculan a partir de imágenes de *flats* de lámpara. Por otro lado, para medir la transmisión relativa de cada fibra y el viñeteo según su posición más o menos cerca del borde del campo de visión, se utilizan las imágenes en las que, desplazándonos ligeramente de la posición de las galaxias, sólo se ha observado cielo. Con ambos factores se obtiene una imagen respuesta, normalizada a la unidad, con la que corregir las imágenes de objetos.

A continuación se podrían extraer los espectros unidimensionales, simplemente sumando la señal de los seis o siete pixels que tiene de ancho cada apertura. Sin

embargo, *wyf-red* utiliza un método de extracción optimizada que asigna más peso a los pixels con mayor señal, mejorando así la relación señal-ruido final. Además, en este mismo proceso, y a partir de la señal de los pixels del entorno, se puede estimar si en alguno de ellos tenemos un exceso debido a la presencia de un rayo cósmico y corregirlo.

Para calibrar en longitud de onda, y una vez extraídos los espectros de las imágenes de la lámpara de argón, *wyf-red* ofrece diferentes formas de identificar las líneas en ellos. La primera es totalmente automática y la desechamos porque en la práctica no funciona bien, debido a la forma particular con que se alinean las fibras en el detector (las fibras se agrupan en 3 diferentes grupos con desplazamientos sistemáticos en longitud de onda). La segunda opción, que es la utilizada en nuestro caso, da la posibilidad de identificar manualmente las líneas en uno o varios espectros y permite que el resto se haga de forma automática con la información facilitada en los primeros. Esta opción funciona suficientemente bien, aún teniendo en cuenta que incluso dentro de cada uno de estos tres grupos de longitudes de onda hay otro desplazamiento provocado por la propia distorsión óptica de la cámara (del orden de $1\text{--}2\text{ \AA}$). Una tercera opción permitiría identificar manualmente las líneas en cada uno de los espectros, si fuera necesario.

La sustracción de la contribución del fondo de cielo en cada fibra se puede calcular a partir de otra exposición, tomada justo antes o después, en la que se ha movido ligeramente el telescopio. Esta forma de hacerlo tiene la ventaja de que se está estimando el cielo con las mismas fibras que se han usado para cada galaxia. Sin embargo, tanto las propias variaciones temporales del brillo del cielo, como la posibilidad de que alguna de las fibras pueda estar contaminada por otro objeto débil y junto con el hecho de que supone un uso de tiempo oscuro que puede utilizarse mejor para observar galaxias, desaconsejan el hacerlo así. En nuestras campañas preferimos calcular el cielo a partir de medidas simultáneas, posicionando las fibras no usadas en las galaxias en regiones de cielo. En general se utilizaron unas 40 fibras para recoger la señal del cielo en cada exposición, por lo que la estadística de ellas permitió desechar las que se desviaban significativamente de la media. De esta manera se ahorra bastante tiempo, ya que sólo es necesario hacer una única exposición de cielo durante la campaña, para conocer las respuestas relativas de las fibras y poder escalar el cielo promedio al nivel adecuado para cada una.

Una vez extraídos los espectros de galaxias y de estrellas fueron necesarios algunos pasos adicionales para completar la reducción en una forma similar a la de las otras cuatro campañas. Tal y como se ha comentado, tanto los rangos espectrales como los valores de dispersión medidos, son ligeramente distintos para cada apertura. Por lo tanto fue necesaria la modificación de los espectros para tener todos con la misma dispersión y longitud de onda inicial. También hubo que obtener la curva de respuesta del detector en función de la longitud de onda, a partir de las estrellas estándares espectrofotométricas observadas, para la correspondiente calibración relativa en flujo.

El inconveniente de este proceso de reducción, frente al de las observaciones de rendija larga, es que no se generan espectros de errores. Para subsanarlo hicimos que en el proceso de extracción de cada espectro, *wyf-red* generara dichos espectros, asignando a cada pixel una varianza:

$$\sigma^2 = \left(\frac{RN}{g}\right)^2 + \frac{S}{g} + (pS)^2 \quad (2.2)$$

donde RN es el ruido de lectura, S es la señal en ese pixel del espectro extraído, g es la ganancia y p es un factor proveniente del patrón de ruido que suponen las variaciones pixel a pixel de la sensibilidad del detector y que se obtiene a partir de los *flats* de lámpara. Trás las pruebas necesarias, se comprobó que estos espectros de errores son similares a los generados con `REDUCE` hasta el paso previo a la sustracción del cielo. Para introducir el error en dicha sustracción, se sumaron cuadráticamente con el ruido del espectro de cielo promedio utilizado (calculado como la raíz cuadrada de su señal dividido por la raíz cuadrada del número de fibras utilizado).

Una vez llevados a cabo cada uno de los pasos de la reducción, descritos en los parrafos anteriores, ya se dispone de los espectros extraidos de estrellas y galaxias, así como de los correspondientes de errores, para poder medir en ellos las características espectrales y obtener los datos necesarios, que nos permitan realizar el análisis que se describe en el siguiente capítulo.

Capítulo 3

Análisis de los espectros y obtención de datos

En este capítulo se describe el proceso de medida de velocidades radiales y dispersión de velocidades, y de los índices de intensidad de líneas. En la primera sección se aborda la cinemática de las poblaciones estelares, midiendo sus velocidades tanto en las regiones centrales como a lo largo del radio. En el siguiente se miden los índices en los espectros de las estrellas observadas en cada campaña y se detalla el análisis realizado con ellos, para obtener la información necesaria que nos permitirá posteriormente transformar a un sistema estándar como es el de Lick/IDS, las medidas de estos índices en las galaxias. En las secciones 3 y 4 se obtienen las medidas de los índices en las regiones centrales de las galaxias y a lo largo de su radio respectivamente.

3.1. Cinemática

Para caracterizar la dinámica de una galaxia elíptica es necesario analizar la función de distribución de las velocidades estelares a lo largo de la línea de visión, la cual se puede obtener a partir de la comparación del espectro de la galaxia con espectros típicos de su población estelar. Generalmente, el problema se reduce a calcular los primeros momentos de dicha función de distribución. En particular el primer y segundo momento representan, respectivamente, la velocidad radial media de todo el sistema y la dispersión de velocidades de las estrellas que lo componen.

Para calcular dichos momentos se pueden utilizar métodos que hacen correlación cruzada entre los espectros de galaxia y estrellas (Tonry y Davies 1979) o que comparan estos en el espacio de Fourier (Sargent et al. 1977). Aunque todos ellos son similares, sus diferencias hacen que unos u otros sean más sensibles o eficaces según detalles de los espectros, como son su ruido, muestreado, resolución espectral, etc. En este trabajo se ha utilizado el programa *move1* del paquete $\text{RED}_{\text{MCE}}^{\text{LIC}}$, desarrollado a partir de los algoritmos descritos en González (1993). Este programa pone especial cuidado en la combinación previa de los espectros estelares más adecuados para su

comparación con el de la galaxia, así como en la estimación de los errores en los valores finales.

Model se basa en el hecho de que, en el espacio de velocidades, el espectro observado de una galaxia $\mathcal{G}(\lambda)$ es la convolución del espectro integrado de la población estelar $\mathcal{S}(\lambda)$ con la función de ensanchamiento $\mathcal{B}(v_r)$ que describe la distribución de sus velocidades radiales, convolucionado a su vez, con la función respuesta del instrumental de observación $\mathcal{I}(v_r)$. A esta relación hay que añadir el ruido inherente al propio proceso de observación. Por lo tanto:

$$\mathcal{G} = \mathcal{I} \odot \mathcal{S} \odot \mathcal{B} + \text{Ruido} \quad (3.1)$$

Como en cada campaña se han observado suficiente número de estrellas de distintos tipos espectrales con la misma configuración instrumental, con una combinación adecuada de sus espectros se puede obtener una aproximación muy realista de la convolución $\mathcal{T} = \mathcal{S} \odot \mathcal{I}$. De esta forma, y considerando que la convolución en el espacio de Fourier es un producto, podemos expresar la transformada de la función de ensanchamiento como :

$$\tilde{\mathcal{B}} = \tilde{\mathcal{G}}/\tilde{\mathcal{T}} + \text{Ruido} \quad (3.2)$$

Si asumimos que la distribución de velocidades radiales de las estrellas está bien caracterizada por una distribución normal de velocidad media v_0 y dispersión σ , la función de ensanchamiento $\mathcal{B}(v_r) = \gamma \exp((v_r - v_0)^2/2\sigma^2)$ tendrá una transformada de Fourier:

$$\tilde{\mathcal{B}}(\nu) = \gamma \exp(2\pi i v_0 \nu) \exp(-2\pi^2 \sigma^2 \nu^2), \quad (3.3)$$

donde γ representa la intensidad de las líneas espectrales de la galaxia en comparación con la combinación de espectros estelares.

Para obtener los tres parámetros v_0 , σ y γ , bastaría con minimizar la función

$$\chi^2 \equiv \int (\tilde{\mathcal{G}} - \tilde{\mathcal{T}}\tilde{\mathcal{B}})^2 d\nu, \quad (3.4)$$

pero, en la práctica, hay limitaciones importantes que considerar. La más evidente de ellas es que los espectros cubren un rango espectral limitado y que, además, no son una función continua, si no que están discretizados según el tamaño del pixel y la dispersión espectral. Por tanto, tendremos que utilizar la transformada de Fourier discreta que, aunque cumple los teoremas de forma análoga, tan sólo es una aproximación a la transformada de Fourier continua.

Para llevar a cabo estos cálculos, primero hemos de poner en escala logarítmica en longitud de onda tanto el espectro de la galaxia como el de la combinación de estrellas (ver figura 3.1). A continuación, dando unos valores iniciales de v_0 , σ y γ se obtiene \mathcal{B} que, al convolucionarla con \mathcal{T} proporciona un primer modelo del espectro de la galaxia $\mathcal{M} \equiv \mathcal{T} \odot \mathcal{B}$. Usando este modelo se interpolan entonces en el espectro observado de la galaxia tanto las líneas de emisión, como posibles residuos de líneas de cielo intensas. A continuación el espectro de la combinación de estrellas,

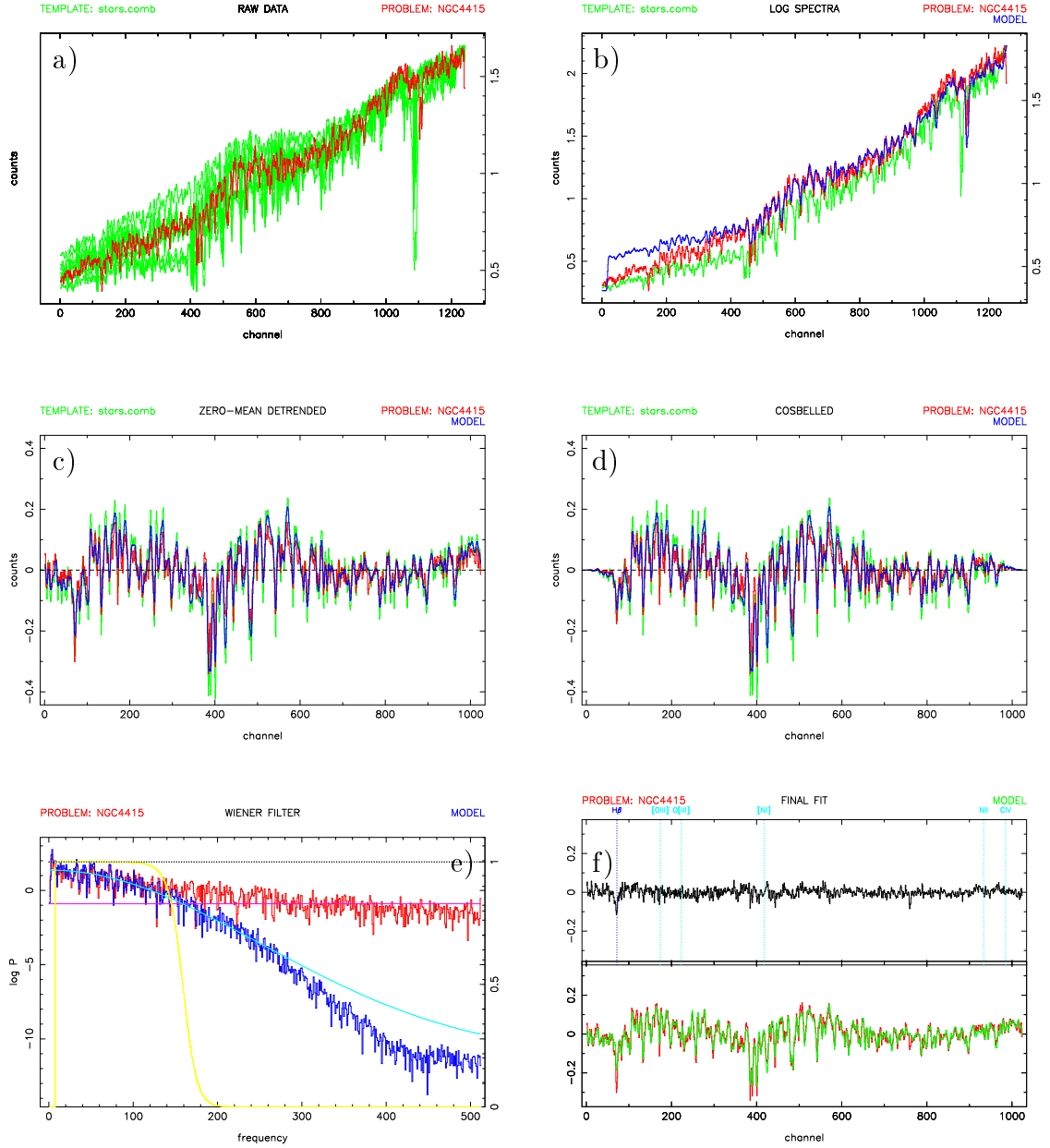


Figura 3.1: Algunas de las gráficas producidas por *movel* en el proceso de medida de los primeros momentos de la función de ensanchamiento. En a) se muestran el espectro de la galaxia (rojo) y los de ocho estrellas (verde) de distintos tipos espectrales que se suministran al programa. En b) están en escala logarítmica el espectro de la galaxia, el de la combinación óptima de estrellas y el modelo creado (azul) al convolucionar el anterior con la función de ensanchamiento. En c) se muestran los tres espectros anteriores normalizados después de eliminar la forma del continuo. En d) se observa el resultado después de multiplicar por un filtro campana de coseno. En e) se representan los espectros de potencias de galaxia (rojo) y modelo (azul), y el filtro de Wiener (amarillo) utilizado. En f) se muestra el ajuste obtenido entre galaxia y modelo, en el panel inferior, y sus residuos a la misma escala, en el superior

el de la galaxia y el del modelo obtenido se ajustan a un polinomio de bajo orden y se dividen por el, con el fin de normalizarlos y eliminar las diferencias de baja frecuencia derivadas de sus distintos continuos. Posteriormente, y para evitar los problemas de las discontinuidades en los bordes, se multiplican por una campana de coseno. Una vez calculadas las transformadas de los espectros de galaxia es necesario modificar los espectros de potencias para las frecuencias más altas y más bajas. Por un lado, las altas frecuencias están claramente afectadas por el ruido y la forma en que dependen de este varía con la dispersión de velocidades y la relación señal/ruido. Para eliminar dicho ruido se aplica una función de pesos según la frecuencia (filtro de Wiener, ver figura 3.1 e):

$$W(k) = \frac{|\tilde{\mathcal{G}}(k)|^2}{|\tilde{\mathcal{G}}(k)|^2 + |\tilde{\mathcal{N}}(k)|^2} \quad (3.5)$$

donde $|\tilde{\mathcal{G}}(k)|^2$ es la amplitud del espectro de potencias de la galaxia y $|\tilde{\mathcal{N}}(k)|^2$ el del ruido. Esta última se calcula a partir de la diferencia media, en la zona de altas frecuencias, entre el espectro de potencias de la galaxia y el de la combinación de estrellas (\mathcal{T}) una vez ensanchado. Además, para que el filtro sea más suave, en lugar de $|\tilde{\mathcal{G}}(k)|^2$ se utiliza un ajuste gaussiano al espectro de potencias de \mathcal{T} , ensanchado con la dispersión de velocidades estimada. De forma práctica, el filtro permite cortar a partir de las frecuencias donde el ruido empieza a ser comparable a la señal.

En el extremo de bajas frecuencias es crítico elegir un corte adecuado, ya que la información para conocer el ensanchamiento se encuentra principalmente en las frecuencias bajas y medias. Pero a su vez, estas bajas frecuencias son las más sensibles a diferencias entre los espectros de la galaxia y el de la combinación de estrellas que puedan quedar por no haber corregido completamente sus correspondientes continuos. Por consiguiente, además de aplicar el filtro de Wiener, se le da un peso cero a los primeros números de onda de Fourier más bajos (típicamente 3).

En resumen, la función a minimizar es:

$$\chi^2 \equiv \sum_{k=0}^{N-1} W(k) |\tilde{\mathcal{G}}(k) - \tilde{\mathcal{T}}\tilde{\mathcal{B}}(k)|^2 \quad (3.6)$$

Sin embargo, podemos comprobar que si en (3.6), en lugar del espectro de la galaxia \mathcal{G} , damos de entrada el espectro modelo \mathcal{M} obtenido con una función de ensanchamiento de la que se conocen sus parámetros (v_0, σ y γ), el resultado del proceso no coincide exactamente con la función original. Esta diferencia ($\tilde{\mathcal{M}} - \tilde{\mathcal{T}}\tilde{\mathcal{B}}$) puede considerarse como un error sistemático aditivo derivado de las limitaciones de la transformada de Fourier discreta, y se le aplicará a la transformada de la galaxia ($\tilde{\mathcal{G}}$) antes de introducirla en (3.6).

Una de las principales ventajas de *movel* es que calcula la combinación lineal de espectros estelares que mejor ajusta al de la galaxia. Esto se realiza de forma

Tabla 3.1: Número de estrellas y tipos espectrales utilizados, para medir las velocidades radiales y dispersión de velocidades. En las dos últimas filas se muestra el tamaño de la región a la que corresponde el espectro central de las galaxias y la escala espacial calculada considerando un módulo de distancia para Virgo de $(M - m) = -30,94$, (Fouqué et al. 2001).

Campanñas				
1	3	4	5	6
1 F0 V	1 F9 V	1 G8 V	1 K0 III	1 A2 V
2 F5-8 V	1 G8 III	1 K0 V		2 F9-G0 V
3 G0-2 V	1 K0 III	1 G8 III		1 G5 V
2 K7-M0 V	1 K2 III	1 G9 III		2 K0-2 V
1 G5 III		2 K0 III		2 G8 III
3 G8 III		1 K4 III		4 K0-1 III
5 K0-1 III				2 K2-3 III
1 K5 III				1 K7 III
3.97''	4.5''	3.9''	2.7''	2.7''
297 pc	336 pc	291 pc	202 pc	202 pc

iterativa a partir del espectro de la galaxia, de los espectros de las estrellas que se le facilitan y de unos valores iniciales de velocidad radial y dispersión de velocidades. Buscando la combinación óptima de estrellas se consigue que los valores de v_0 y σ de salida vayan convergiendo con los de entrada. En todas las campañas el margen de convergencia se fija en 0.5 km/s.

Una vez obtenidos, tanto la combinación óptima de espectros estelares como la velocidad radial y dispersión de velocidades finales, *move1* calcula los errores en estos parámetros. Para ello, a partir de los correspondientes espectros de errores de la galaxia y de las estrellas, se realizan simulaciones de Monte Carlo y se calculan para cada una de ellas, nuevos valores de v_0 y σ . Las desviaciones en las soluciones proporcionan estimaciones del error en la velocidad radial y dispersión de velocidades.

3.1.1. Valores centrales

Con el método descrito en el apartado anterior se midieron la velocidad radial y la dispersión de velocidades en el centro de las galaxias de la muestra. Como centro de las galaxias se toma el espectro correspondiente a alrededor de los 4 arcossegundos centrales para las cuatro primeras campañas o el espectro correspondiente a los 2,7'' centrales, que es el campo de visión de las fibras utilizadas en las dos últimas. El tamaño angular y su correspondiente escala espacial se dan en las dos últimas filas de la tabla 3.1. La escala espacial es la correspondiente a la distancia a la que se encuentra el cúmulo de Virgo al que pertenecen la mayoría de las galaxias de la muestra (Fouqué et al. 2001).

Tabla 3.2: Valores de la velocidad radial heliocéntrica y dispersión de velocidades correspondientes al centro de las galaxias, con sus respectivos errores, en la quinta y sexta columna. En la primera se dan los nombres de las galaxias y en la segunda su número como miembro del cúmulo de Virgo cuando pertenecen a él. En la tercera columna se indica en que campaña han sido observadas, donde 4b y 4r hacen referencia al brazo azul y al rojo, respectivamente, de la cuarta campaña. La cuarta columna muestra el parámetro de intensidad de las líneas obtenido en el ajuste con *movel*.

Galaxia	VCC	campaña	γ	v_o	σ_o
NGC2694		4b	0.769 ± 0.007	5022.2 ± 1.9	137.6 ± 3.4
		4r	0.892 ± 0.008	5034.2 ± 1.7	142.7 ± 1.6
NGC3605		3	1.002 ± 0.005	636.2 ± 0.5	87.6 ± 0.8
NGC3641		4b	0.833 ± 0.007	1707.3 ± 3.6	165.4 ± 3.9
		4r	0.809 ± 0.005	1757.2 ± 1.2	170.8 ± 1.8
NGC4374	763	5	0.785 ± 0.006	982.6 ± 3.2	251.2 ± 2.2
		6	1.066 ± 0.004	992.0 ± 1.5	287.7 ± 1.6
NGC4387	828	5	0.915 ± 0.011	503.5 ± 2.3	77.8 ± 3.3
		6	1.105 ± 0.005	514.6 ± 0.8	89.0 ± 1.4
NGC4406	881	5	0.735 ± 0.006	-334.3 ± 1.6	160.4 ± 3.0
		6	1.036 ± 0.003	-294.7 ± 0.8	232.7 ± 1.1
NGC4415	929	1	0.814 ± 0.017	917.0 ± 1.6	42.7 ± 4.2
NGC4431	1010	1	0.770 ± 0.014	931.3 ± 1.9	41.9 ± 4.0
NGC4435	1030	5	0.918 ± 0.009	789.6 ± 1.6	135.0 ± 2.4
		6	1.152 ± 0.004	729.7 ± 0.9	157.1 ± 1.1
NGC4436	1036	5	0.870 ± 0.016	1100.2 ± 2.5	33.8 ± 15.0
NGC4464	1178	4b	0.886 ± 0.004	1199.4 ± 1.2	140.8 ± 1.9
		4r	0.943 ± 0.004	1252.5 ± 0.9	128.7 ± 1.0
NGC4467	1192	4b	0.825 ± 0.008	1358.4 ± 2.4	53.8 ± 5.1
		4r	0.859 ± 0.006	1394.4 ± 2.4	51.4 ± 1.1
NGC4486B	1297	4b	0.901 ± 0.003	1511.8 ± 1.5	181.8 ± 1.9
		4r	0.842 ± 0.004	1548.6 ± 1.0	192.3 ± 1.3
NGC4489	1321	1	0.907 ± 0.007	961.3 ± 1.0	51.1 ± 1.8
NGC4515	1475	3	0.919 ± 0.005	946.8 ± 0.5	77.6 ± 0.8
NGC5846		1	0.818 ± 0.008	1709.6 ± 3.4	248.8 ± 3.5
NGC5846A		1	0.766 ± 0.006	2231.4 ± 2.1	199.0 ± 2.7
		4b	0.821 ± 0.010	2179.6 ± 4.0	182.4 ± 6.8
		4r	0.820 ± 0.011	2226.1 ± 2.7	184.8 ± 3.6
IC767	32	1	0.658 ± 0.010	1883.8 ± 1.1	30.1 ± 2.6
		4b	0.575 ± 0.035	1833.0 ± 16.8	51.2 ± 31.5
		4r	0.962 ± 0.036	1829.2 ± 3.6	17.5 ± 16.3
IC794	1073	1	0.847 ± 0.016	1926.7 ± 1.6	41.1 ± 3.2
		5	0.985 ± 0.015	1876.3 ± 3.1	60.2 ± 10.2
IC3303	781	5	0.546 ± 0.015	-420.7 ± 19.7	0.8 ± 16.1
		6	0.779 ± 0.024	-382.1 ± 7.6	43.9 ± 12.2
IC3331	870	5	0.624 ± 0.055	1191.3 ± 36.1	
IC3363	965	5	0.664 ± 0.047	777.1 ± 15.8	
IC3393	1122	1	0.812 ± 0.019	470.9 ± 2.3	25.0 ± 7.6
IC3443	1348	5	0.670 ± 0.014	1726.0 ± 4.6	51.3 ± 15.5
IC3457	1386	5	0.601 ± 0.097	1278.1 ± 49.3	
IC3475	1448	5	0.748 ± 0.150	2214.8 ± 71.1	

Tabla 3.2: (*continuación*)

Galaxia	VCC	campana	γ	v_o	σ
IC3492	1499	5	0.525 ± 0.098	-569.2 ± 98.6	86.6 ± 15.2
UGC7436	543	1	0.756 ± 0.014	988.0 ± 2.2	35.0 ± 4.1
VCC753	753	5	1.680 ± 0.285	790.0 ± 87.4	
VCC765	765	5	0.650 ± 0.077	916.1 ± 43.8	
VCC815	815	6	1.039 ± 0.226	-725.7 ± 76.0	
VCC823	823	5	0.678 ± 0.045	1682.8 ± 14.2	82.8 ± 37.1
VCC833	833	5	0.855 ± 0.277	709.6 ± 69.7	
		6	0.495 ± 0.069	720.7 ± 67.0	
VCC844	844	6	0.963 ± 0.010	25.4 ± 1.6	33.5 ± 5.0
VCC846	846	5	0.752 ± 0.119	-584.0 ± 84.0	
		6	0.746 ± 0.060	-548.1 ± 13.6	
VCC854	854	5	0.471 ± 0.188	639.6 ± 117.5	
		6	0.859 ± 0.167	519.0 ± 70.4	
VCC871	871	5	0.751 ± 0.145	1327.7 ± 109.1	
		6	0.494 ± 0.067	1366.9 ± 47.7	
VCC872	872	5	0.536 ± 0.164	1231.6 ± 199.9	
		6	0.408 ± 0.278	1225.0 ± 99.2	
VCC882	882	5	0.518 ± 0.034	941.3 ± 25.5	
		6	0.684 ± 0.029	944.7 ± 6.7	34.7 ± 22.5
VCC916	916	5	0.982 ± 0.022	1259.1 ± 5.3	35.3 ± 13.0
		6	1.047 ± 0.022	1299.7 ± 2.3	48.9 ± 8.6
VCC1035	1035	5	0.546 ± 0.091	115.0 ± 197.5	
VCC1040	1040	6	0.802 ± 0.051	-380.5 ± 20.7	
VCC1148	1148	4b	0.836 ± 0.017	1360.8 ± 4.7	59.0 ± 11.9
		4r	0.855 ± 0.013	1429.4 ± 1.4	30.5 ± 3.2
VCC1389	1389	5	0.466 ± 0.057	868.0 ± 22.1	54.6 ± 34.9
VCC1414	1414	5	0.440 ± 0.060	174.6 ± 28.4	
VCC1491	1491	5	0.871 ± 0.018	1946.1 ± 3.7	72.7 ± 9.7
VCC1539	1539	5	0.892 ± 2.111	1470.7 ± 145.0	
VCC1627	1627	4b	0.838 ± 0.009	232.9 ± 2.4	56.2 ± 4.5
		4r	0.988 ± 0.007	300.4 ± 1.0	39.3 ± 1.8

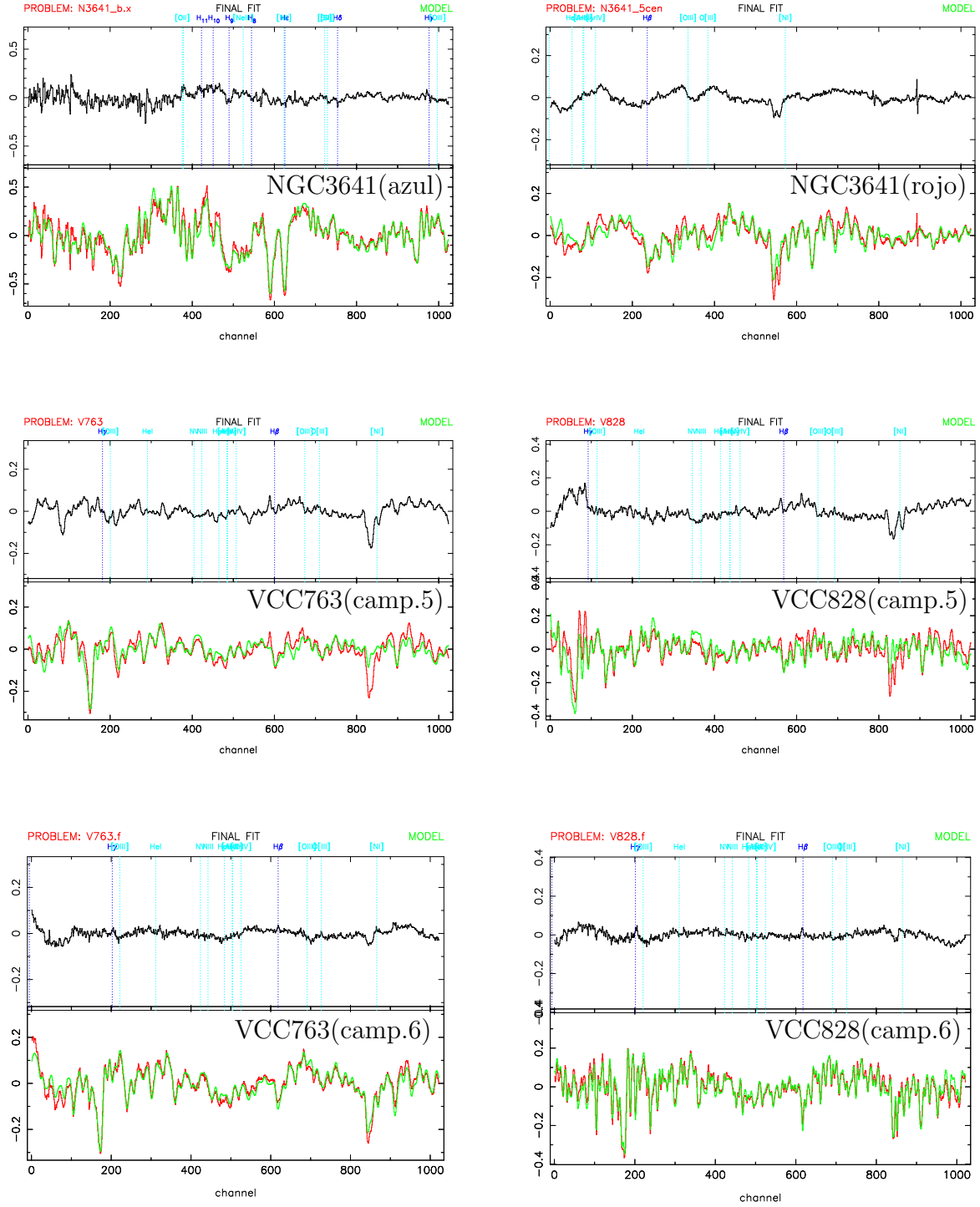


Figura 3.2: Comparación de los modelos creados con la combinación óptima de espectros estelares con los espectros centrales de las galaxias. En el panel superior de cada gráfica se muestran, con la misma escala, los residuos de los ajustes.

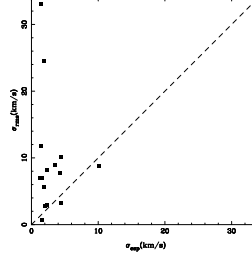


Figura 3.3: Comparación de la dispersión de los valores (σ_{rms}) de dispersión de velocidades medidos en una misma galaxia con la esperada (σ_{rms}) a partir de los errores en cada una de las medidas.

En la misma tabla se indican también cuántas estrellas se han utilizado para calcular la combinación óptima, así como sus tipos espectrales. En la segunda campaña (INT95) no se midieron las velocidades en las galaxias porque la muestra era parte de la primera (INT94) y, además, porque los espectros eran de peor calidad.

En la tabla 3.2 se muestran la dispersión de velocidades central y las velocidades radiales heliocéntricas de las galaxias. Los valores tabulados son los correspondientes a todos los espectros en los que ha sido posible medir con confianza estas velocidades. En otros casos no ha sido posible, bien por tener baja relación señal/ruido en los espectros de las galaxias o por no contar con la suficiente muestra de espectros estelares. Como se aprecia en la tabla, hay algunos casos en que la calidad de las observaciones ha permitido medir la velocidad radial, pero no obtener la dispersión de velocidades con un mínimo de garantía.

En la figura 3.2 se muestran algunos ejemplos representativos de los ajustes obtenidos al medir las velocidades y en el apéndice A1 se representan todas las galaxias en que ha sido posible efectuar estas medidas. En el panel inferior de cada gráfica se muestran los ajustes entre los espectros centrales de las galaxias y los modelos creados con la combinación de espectros estelares, desplazados y ensanchados con las respectivas velocidad radial y dispersión de velocidades medidas, mientras que en el panel superior se representan los residuos de estos ajustes.

Como se puede ver en la tabla 3.2, para algunas galaxias contamos con medidas repetidas. Cuando se compara (fig. 3.3) la dispersión de los distintos valores obtenidos para una misma galaxia (σ_{rms}), en diferentes campañas o en diferentes rangos espectrales de una misma campaña, con la que se esperaría a partir de los errores obtenidos para cada medida ($\sigma_{[esp]}$), se comprueba que la primera es generalmente mayor. Lo cual nos indica que el error de cada medida es realmente mayor que el que obtenemos con el proceso descrito anteriormente. Un factor muy importante en este proceso es, con que precisión somos capaces de reproducir el espectro de la galaxia, lo cual depende de cuantos espectros estelares se dispone y de la variedad de sus tipos espectrales. Un claro ejemplo lo tenemos en los cuatro paneles inferiores de la figura ??figuremovelfits) en los que se muestran los ajustes al espectro de las galaxias VCC 763 y VCC 828 en la campaña 5, en la que solo hay una estrella de comparación, y en la campaña 6 que se cuenta con 15 estrellas de distintos tipos

Tabla 3.3: Angulos de posición (desde el Norte hacia el Este) en que se situó la rendija del espectrógrafo para observar cada galaxia a lo largo de su eje mayor.

Galaxia	A.P.	Galaxia	A.P.	Galaxia	A.P.
NGC2694	180	NGC4486B	90	IC794	105
NGC3605	17	NGC4489	160	IC3393	133
NGC3641	60	NGC4515	0	UGC7436	300
NGC4415	6	NGC5846	77	VCC1148	170
NGC4431	182	N5846+N5846A	182	VCC1627	164
NGC4464	146	NGC5846A	40		
NGC4467	99	IC767	75		

espectrales (ver tabla 3.1).

3.1.2. Curvas de rotación y perfiles de dispersión de velocidades

La ventaja de las observaciones con rendija larga es que permiten estudiar las poblaciones estelares y su cinemática, no sólo en el centro de las galaxias, si no también a lo largo del radio. De forma general, al realizar las observaciones se situó la rendija a lo largo del eje mayor de las galaxias (ver tabla 3.3), salvo en el caso de NGC 5846 y NGC 5846A para las que se situó la rendija en el ángulo correspondiente para observarlas simultáneamente.

En principio, la situación ideal sería aprovechar al máximo la resolución espacial para tener lo mejor muestreados posible los perfiles de las galaxias. Pero en la práctica estamos limitados, tanto porque las galaxias de este trabajo son bastante débiles, como por la propia disminución del brillo superficial a medida que nos alejamos de su centro. Por ambas razones, no siempre se tiene suficiente señal en el espectro extraído de una sola fila de la imagen como para medir las características que nos interesan. Por esto, al extraer los espectros a distintas distancias del centro de cada galaxia se sumaron el número de filas necesarias para tener una mínima calidad. El criterio seguido fue sumar el suficiente número de espectros para que la relación señal/ruido permitiera medir los índices espectrales con errores inferiores al 10 % (Cardiel et al. 1998) . Como se verá en el próximo apartado, esto implica una $S/N(\text{por } \text{\AA}) \geq 10$ para los índices moleculares (Mg_1 , Mg_2) y $S/N \geq 15$ para los índices atómicos (Mg_b , H_β , $\text{Fe}52$, ...). Para todas las galaxias, la mayoría de los espectros individuales cumplían este requisito y, tan sólo los dos o tres espectros extraídos en los extremos, son suma de varios.

Una vez adoptado este criterio, sobre los espectros extraídos se midieron las velocidades radiales y dispersión de velocidades. Esto se llevó a cabo siguiendo el mismo método que para el centro de las galaxias. Pero ahora se utilizó directamente la combinación óptima de espectros estelares que se obtuvo al medir los valores

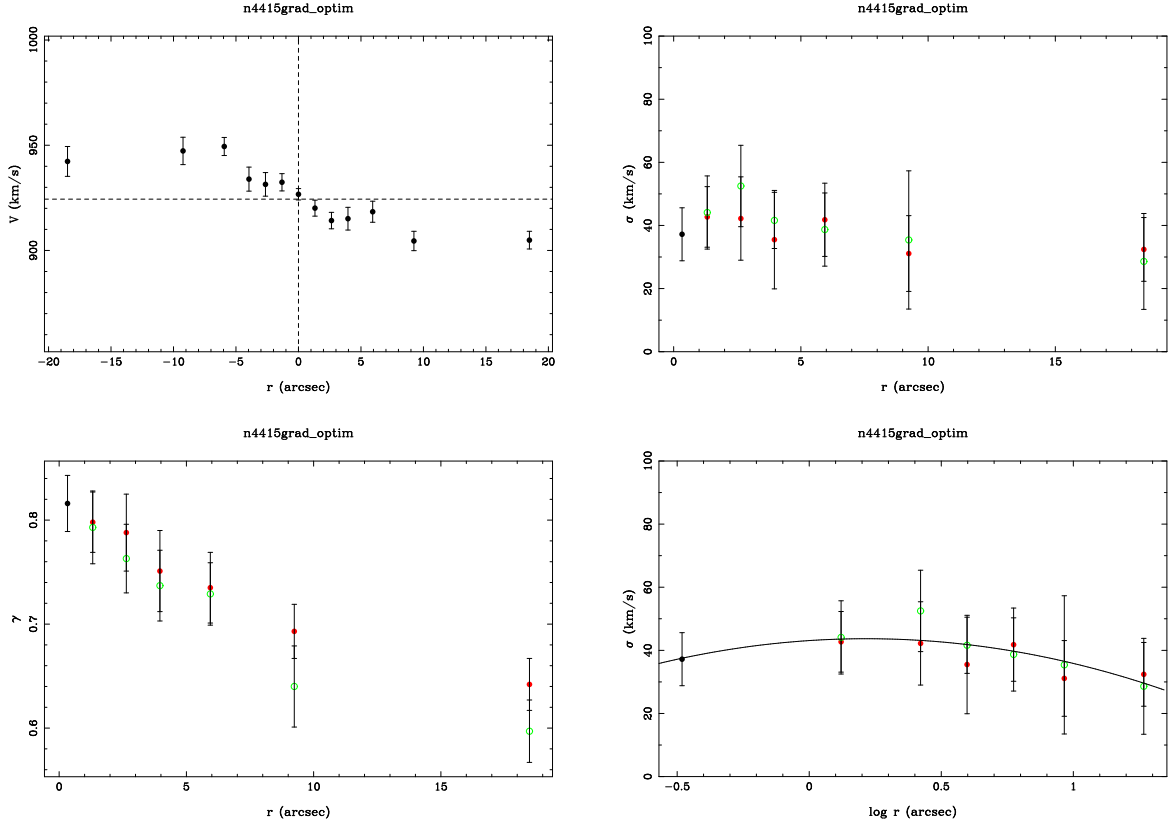


Figura 3.4: Velocidades radiales, dispersiones de velocidades, ajuste de estas a un polinómio de segundo orden y valores de γ medidos a lo largo del eje mayor de la galaxia NGC 4415. Los círculos vacíos y rellenos representan los valores medidos a cada lado de la galaxia.

centrales.

Puesto que los valores que se miden de los índices de intensidad de líneas dependen del ensanchamiento de estas y, por lo tanto, de la dispersión de velocidades, se intentó evitar que los errores en medidas particulares de la dispersión de velocidades, en los espectros de menos calidad, se trasladen a la medida de los índices. Para esto, se ajustaron polinómios de bajo orden a los valores de estas velocidades medidos a lo largo del radio y se tomaron estos valores del ajuste, en lugar de los medidos, para realizar las correcciones necesarias al medir los índices de intensidad de líneas (ver sección 3.3).

En la figura 3.4 se muestran, como ejemplo para una galaxia, la curva de rotación, el perfil de dispersión de velocidades y su ajuste a un polinómio de orden dos. Además, se representa la variación radial del parámetro γ , que indica la intensidad relativa de las líneas de absorción. En el Apéndice B se incluyen las gráficas de ve-

Tabla 3.4: Dispersión de velocidades medidas en espectros en los que la relación señal/ruido se ha ido deteriorando, al escalar el espectro de errores multiplicándolo por un factor. Para cada S/N se realizaron 50 simulaciones de Monte Carlo. En la segunda columna se muestra la media ($\bar{\sigma}$) de los valores de dispersión de velocidades medidos en los espectros situados entre $1''$ y el radio efectivo y en la tercera, la dispersión de velocidades medida (σ_{sum}) en el espectro suma de todos estos.

S/N	$\bar{\sigma}$	σ_{sum}	σ_{SN}				
			30	25	20	15	10
NGC4431	52.1±2.9	52.9±2.1	53.9±6.5	53.3±7.8	52.7±11.2	59.4±19.7	55.9±23.3
IC3393	28.9±2.0	27.5±4.3	25.7±4.7	29.4±12.4	31.9±13.8	41.3±28.5	53.5±45.1

locidad radial y dispersión de velocidades para todas las galaxias en las que se han podido medir estos gradientes, así como las tablas con los correspondientes valores medidos de γ , velocidad radial, dispersión de velocidades y su ajuste polinómico.

Como se ha indicado, antes de realizar la extracción de los espectros, se calculó el número de filas que había que sumar con el criterio de acotar el error en la medida de los índices (Cardiel et al. 1998). Sin embargo, es posible que esas S/N mínimas sean insuficientes para la determinación precisa de la dispersión de velocidades. Para comprobar esto llevamos a cabo el siguiente test, usando una galaxia como NGC 4431 con dispersión de velocidades típica de la muestra, y IC 3393, que corresponde a un valor de σ más bajo. Por un lado se calculó la media $\bar{\sigma}$, pesando con los errores, de los valores de dispersión de velocidades medidos en los espectros situados entre $1''$ y el radio efectivo. Por otra parte, se sumaron todos estos espectros, obteniendo una relación señal/ruido (S/N) bastante más alta, y se midió la dispersión de velocidades en dicho espectro (σ_{sum}). Posteriormente se realizaron simulaciones de Montecarlo aumentando el espectro de errores del espectro suma, multiplicándolo por un factor, para obtener sucesivamente valores inferiores de señal/ruido. Para cada nueva S/N se calculó el valor medio (σ_{SN}) de los valores de obtenidos en 50 simulaciones. Los resultados se muestran en la tabla 3.4 y la gráfica 3.5. A partir de estos, se concluye que, para las galaxias con dispersiones de velocidades más bajas, espectros con una señal/ruido inferior a 20, conducen a valores de dispersión de velocidades con errores sistemáticos. Nótese que al no poderse obtener $\sigma < 0$, la distribución de valores para S/N bajas es más asimétrica cuanto menor sea σ_{sum} , dando lugar a valores de σ_{SN} que crecen con S/N.

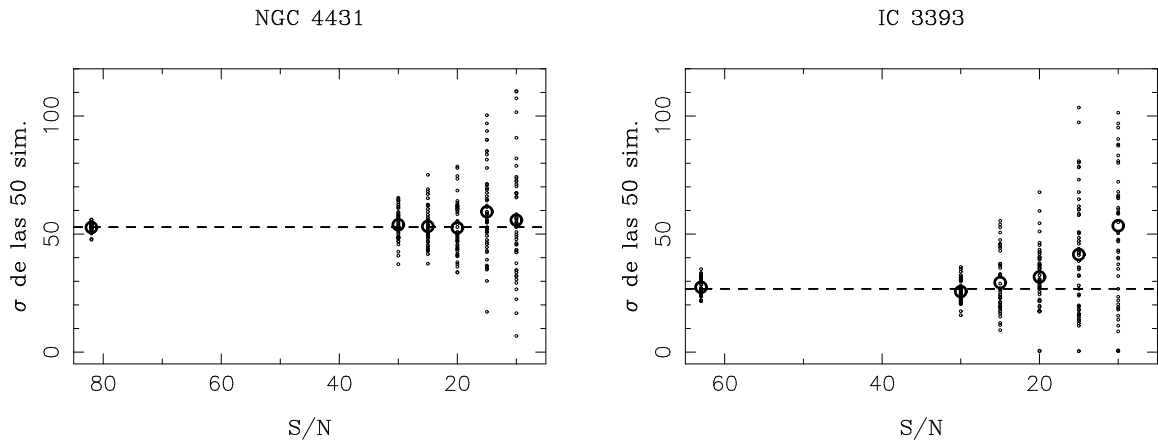


Figura 3.5: Representación gráfica de los valores de la tabla 3.4. Para cada S/N se muestran los valores obtenidos en las 50 simulaciones y, la media de estos con símbolos de tamaño mayor.

3.2. Índices de intensidad de líneas

3.2.1. Definición de los índices

Los índices de intensidad de líneas son medidas de la intensidad de ciertas líneas de absorción o características espectrales en relación con el continuo local. Se definen a partir del flujo en una banda centrada en la línea de absorción, en comparación con el valor del continuo en esa misma región espectral. Este continuo se estima a partir de otras dos bandas situadas a ambos lados de la central, cuyas anchuras y posiciones se definen de forma que estén próximas a la banda central pero lo menos afectadas posible por otras líneas intensas. A su vez, la anchura de la propia banda central está elegida de forma que el valor del índice medido no se vea muy afectado por el ensanchamiento de la línea debido a la dispersión de velocidades de las galaxias.

La medida de estos índices espectrales es una herramienta sumamente útil en el estudio de las poblaciones estelares de galaxias. Esto ha quedado reflejado desde los trabajos pioneros en el estudio de las galaxias de primeros tipos de Faber (1973) y en trabajos posteriores como por ejemplo, Bender, Burstein y Faber (1993), Peletier (1989), Gorgas, Efstathiou y Aragón-Salamanca (1990), Worthey, Faber y González (1992), González (1993) y Gorgas et al. (1997).

El sistema de índices de uso más extendido es el de Lick/IDS. Tiene su origen en un programa de larga duración llevado a cabo en el observatorio de Lick y encaminado a estudiar las poblaciones estelares viejas. Burstein et al. (1984) midieron 11 de estos índices en una muestra de 17 cúmulos globulares de nuestra Galaxia y 19 de M31, comparándolos entre sí y con los medidos en el núcleo de 170 galaxias elípticas. Posteriormente, Faber et al. (1985) midieron estos índices en una muestra de 110 estrellas gigantes K con el fin de calibrar las intensidades de las líneas en galaxias

elípticas con la metalicidad. Gorgas et al. (1993) a partir de los índices medidos en los espectros de estrellas gigantes G y K de la vecindad solar, estrellas enanas y 92 estrellas de cúmulos, obtuvieron unas funciones de ajuste empíricas que expresaban la intensidad de los índices como función del índice de color $V - K$ (como indicador de la temperatura efectiva), de la gravedad superficial y de la metalicidad. González (1993) redefinió los 11 índices y los aumentó hasta 21. Esta ligera redefinición es necesaria por la distinta resolución, calibración en flujo (que una lámpara de tungsteno) y demás características que diferencian al IDS (*image dissector scanner*) del telescopio Shane de Lick, con el que se midieron y definieron originalmente los índices, de los actuales detectores CCD. Por dicho motivo, por un lado se ensancharon las bandas en 0.625 \AA a cada lado (originalmente los límites de cada una hacían referencia al centro de los píxeles de los extremos) y, por otro lado, algunas bandas se desplazaron ligeramente debido a imprecisiones en la calibración en longitud de onda de las observaciones iniciales. Worthey et al. (1994) ampliaron las funciones de ajuste con una muestra total de 460 estrellas que cubren un rango en temperatura, gravedad y metalicidad adecuado para la población estelar integrada de las galaxias de primeros tipos. Esta muestra de estrellas es la que constituye la librería de Lick/IDS. Posteriormente, Worthey y Ottaviani (1997) definieron 4 nuevos índices, obteniendo sus correspondientes funciones de ajuste con las 460 estrellas. Dos de estos índices tienen una banda central de 20 \AA situada en las líneas $H\gamma$ y $H\delta$ respectivamente. Los otros dos son similares, pero con una banda central de 40 \AA .

En un trabajo posterior Cardiel et al. (1998) desarrollaron las fórmulas adecuadas para calcular analíticamente los errores aleatorios en la medida de estos índices, deduciendo expresiones para estimar la señal/ruido necesaria para obtener un determinado error en un índice. Asimismo, Gorgas et al. (1999) presentaron nuevas funciones de ajuste para describir el comportamiento de otro índice, el D_{4000} (definido únicamente por dos bandas a ambos lados de la discontinuidad en 4000 \AA), en función de la temperatura efectiva, metalicidad y gravedad superficial. Para esto, llevaron a cabo la medida del índice en 392 estrellas de la librería de Lick/IDS. Más recientemente Cenarro et al. (2001a,b; 2002) aumentaron la librería de Lick/IDS a 706 estrellas, cubriendo rangos más amplios de parámetros atmosféricos, y observaron la región espectral de 8300 a 9000 \AA con resolución de 1.5 \AA . En esta región definieron un nuevo índice, CaT^* , que mide la intensidad de las líneas de absorción del triplete del CaII corregidas de la contaminación de las líneas de la serie de Paschen.

Inicialmente, la definición de los índice de intensidad de líneas es semejante a la expresión clásica de anchura equivalente:

$$W_\lambda(\text{\AA}) = \int_{\text{línea}} \left(1 - \frac{S(\lambda)}{C(\lambda)} \right) d\lambda, \quad (3.7)$$

donde W_λ tiene unidades de \AA , $S(\lambda)$ es el espectro observado y $C(\lambda)$ es el continuo local. También se puede redefinir para medirlo en magnitudes:

Tabla 3.5: Índices de intensidad de líneas según el sistema de Lick revisado (Trager et al. 1998), junto con las definiciones de $H\gamma$ y $H\delta$ de Worthey y Ottaviani (1997), y los índices de la región del CaII (Cenarro et al. 2001a). c_1 , c_2 y c_3 son los coeficientes para estimar el error en la medida del índice en función de la relación señal/ruido (Cardiel et al. 1998).

Índice	Características	Banda central (Å)	Continuo (Å)	c_1	c_2	c_3
$H\delta_A$	$H\delta$	4083.500–4122.250	4041.600–4079.750 4128.500–4161.000	7.756	0.2002	
$H\delta_F$	$H\delta$	4091.000–4112.250	4057.250–4088.500 4114.750–4137.250	5.493	0.2585	
CN ₁	CN, TiI, FeI	4142.125–4177.125	4080.125–4117.625 4244.125–4284.125			0.2241
CN ₂	CN, TiI, FeI	4142.125–4177.125	4083.875–4096.375 4244.125–4284.125			0.2691
Ca4227	CaI, FeI	4222.250–4234.750	4211.000–4219.750 4241.000–4251.000	4.604	0.3684	
G4300	CH (G band), FeI	4281.375–4316.375	4266.375–4282.625 4318.875–4335.125	8.537	0.2439	
$H\gamma_A$	$H\gamma$	4319.750–4363.500	4283.500–4319.750 4367.250–4419.750	8.215	0.1878	
$H\gamma_F$	$H\gamma$	4331.250–4352.250	4283.500–4319.750 4354.750–4384.750	5.306	0.2527	
Fe4383	FeI	4369.125–4420.375	4359.125–4370.375 4442.875–4455.375	13.220	0.2580	
Ca4455	CaI, FeI, TiI, VII	4452.125–4474.625	4445.875–4454.625 4477.125–4492.125	7.038	0.3128	
Fe4531	FeI, TiI	4514.250–4559.250	4504.250–4514.250 4560.500–4579.250	11.299	0.2511	
Fe4668	FeI, CrI, TiI	4634.000–4720.250	4611.500–4630.250 4742.750–4756.500	17.757	0.2059	
$H\beta$	$H\beta$	4847.875–4876.625	4827.875–4847.875 4876.625–4891.625	7.301	0.2539	
Fe5015	FeI, TiI, NiI	4977.750–5054.000	4946.500–4977.750 5054.000–5065.250	16.455	0.2158	
Mg ₁	MgH, FeI	5069.125–5134.125	4895.125–4957.625 5301.125–5366.125			0.1662
Mg ₂	MgH, MgI	5154.125–5196.625	4895.125–4957.625 5301.125–5366.125			0.1933
Mg _b	MgI	5160.125–5192.625	5142.625–5161.375 5191.375–5206.375	8.032	0.2472	
Fe5270	FeI, CaI	5245.650–5285.650	5233.150–5248.150 5285.650–5318.150	9.250	0.2313	
Fe5335	FeI, CrI CaI, TiI	5312.125–5352.125	5304.625–5315.875 5353.375–5363.375	10.741	0.2685	
Fe5406	FeI, CrI	5387.500–5415.000	5376.250–5387.500 5415.000–5425.000	7.256	0.2893	
Fe5709	FeI, NiI, Mg	5696.625–5720.375	5672.875–5696.625 5722.875–5736.625	6.362	0.2679	
Fe5782	FeI, CrI	5776.625–5796.625	5765.375–5775.375 5797.875–5811.625	6.134	0.3067	

Tabla 3.5: (*continuación*)

Índice	Características	Banda central (Å)	Continuo (Å)	c_1	c_2	c_3
NaD	NaI	5876.875–5909.375	5860.625–5875.625 5922.125–5948.125	8.113	0.2496	
TiO ₁	TiO, FeI, SiI	5936.625–5994.125	5816.625–5849.125 6038.625–6103.625			0.1824
TiO ₂	TiO, TiI FeI, VII	6189.625–6272.125	6066.625–6141.625 6372.625–6415.125			0.1568
CaT	CaII (Ca1) CaII (Ca2) CaII (Ca3)	8484.000–8513.000 8522.000–8562.000 8642.000–8682.000	8474.000–8484.000 8563.000–8577.000 8619.000–8642.000 8700.000–8725.000 8776.000–8792.000	18.090	0.1751	
PaT	Hi (P17) Hi (P14) Hi (P12)	8461.000–8474.000 8577.000–8619.000 8730.000–8772.000	8474.000–8484.000 8563.000–8577.000 8619.000–8642.000 8700.000–8725.000 8776.000–8792.000	14.270	0.1463	
CaT*				16.430	0.1052	
D ₄₀₀₀		3750.000–3950.000 4050.000–4250.000				

$$I(\text{mag}) = -2,5 \log_{10} \left(1 - \frac{W_\lambda(\text{Å})}{\Delta\lambda} \right), \quad (3.8)$$

donde $\Delta\lambda$ es la anchura (en Å) de la banda central.

Dentro del sistema de Lick/IDS, hay dos grandes grupos: los índices atómicos y los moleculares, midiéndose los primeros en Å y los segundos en magnitudes. Siguiendo la notación de González (1993), las definiciones de los índices atómicos y moleculares, respectivamente, son:

$$I_a \equiv \int_{\lambda_{c1}}^{\lambda_{c2}} \left(1 - \frac{S(\lambda)}{C(\lambda)} \right) d\lambda, \quad (3.9)$$

$$I_m \equiv -2,5 \log_{10} \frac{\int_{\lambda_{c1}}^{\lambda_{c2}} \frac{S(\lambda)}{C(\lambda)} d\lambda}{\lambda_{c2} - \lambda_{c1}}, \quad (3.10)$$

donde λ_{c1} y λ_{c2} son los límites de la banda central (en Å). El pseudocontinuo local $C(\lambda)$ se obtiene como

$$C(\lambda) \equiv S_b \frac{\lambda_r - \lambda}{\lambda_r - \lambda_b} + S_r \frac{\lambda - \lambda_b}{\lambda_r - \lambda_b}, \quad \text{donde} \quad (3.11)$$

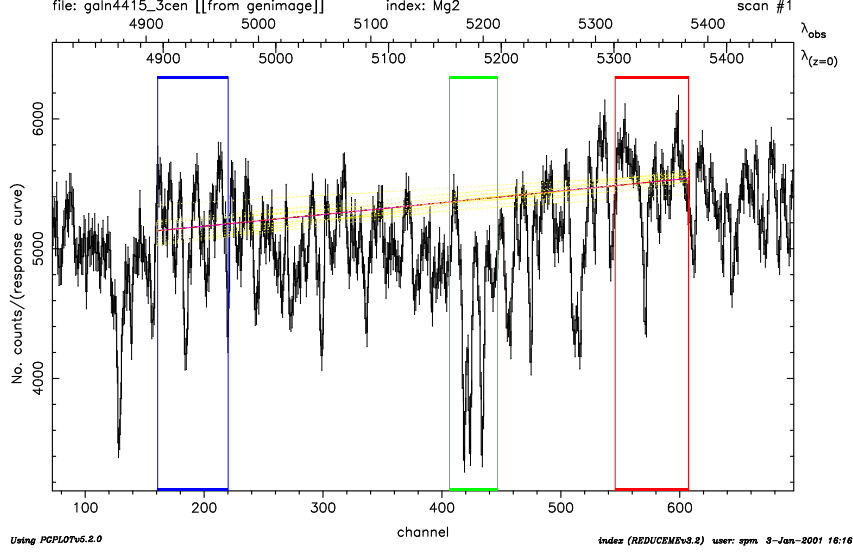


Figura 3.6: Bandas del índice Mg_2 sobre el espectro correspondiente al centro de NGC 4415. Las líneas de puntos indican los continuos obtenidos con distintas curvas de calibración en flujo y, la de trazo continuo, el promedio de estas.

$$S_b \equiv \frac{\int_{\lambda_{b1}}^{\lambda_{b2}} S(\lambda) d\lambda}{(\lambda_{b2} - \lambda_{b1})}, \quad S_r \equiv \frac{\int_{\lambda_{r1}}^{\lambda_{r2}} S(\lambda) d\lambda}{(\lambda_{r2} - \lambda_{r1})}, \quad (3.12)$$

$$\lambda_b \equiv (\lambda_{b1} + \lambda_{b2})/2, \quad \lambda_r \equiv (\lambda_{r1} + \lambda_{r2})/2, \quad (3.13)$$

siendo λ_{b1} , λ_{b2} , λ_{r1} , y λ_{r2} los límites de las bandas azul y roja, respectivamente. Las tres bandas correspondientes a cada uno de los índices se reproducen en la tabla 3.5. En la figura 3.6 se muestra, como ejemplo, las bandas del índice Mg_2 sobre el espectro extraído del centro de la galaxia NGC 4415.

El único índice que no se ajusta a estas definiciones es la discontinuidad en 4000 Å (D_{4000}). En su definición se utilizan sólo dos bandas y puede considerarse como un pseudocolor. De acuerdo con la definición de Bruzual (1983):

$$D_{4000} \equiv \frac{\int_{4050}^{4250} S(\nu) d\lambda}{\int_{3750}^{3950} S(\nu) d\lambda} = \frac{\int_{4050}^{4250} \lambda^2 S(\lambda) d\lambda}{\int_{3750}^{3950} \lambda^2 S(\lambda) d\lambda} \quad (3.14)$$

donde la combinación de $S(\nu)$ y $d\lambda$ es debida a razones históricas.

De acuerdo con Cardiel et al. (1998) se pueden estimar los errores en las medidas de los índices a partir de la relación señal/ruido. Para esto, dichos autores proporcionan las siguientes expresiones para índices atómicos y moleculares,

$$\sigma[I_a] \approx \frac{c_1 - c_2 I_a}{\text{SN}(\text{\AA})}, \quad \sigma[I_m] \approx \frac{c_3}{\text{SN}(\text{\AA})}, \quad (3.15)$$

Los coeficientes c_1 , c_2 y c_3 se muestran en las últimas columnas de la tabla 3.5. Por otra parte, para el D_{4000} :

$$\sigma[D_{4000}] \approx \frac{D_{4000}}{10} \frac{1}{\text{SN}(\text{\AA})}. \quad (3.16)$$

3.2.2. Cálculo de errores en los índices

Dado que en este trabajo necesitaremos comparar las medidas de los índices espectrales con las predicciones de los modelos de síntesis de poblaciones, se ha de garantizar que ambos estén en un mismo sistema, por lo que es necesario transformar nuestras medidas al sistema de Lick. Además también se necesita calcular de forma precisa los errores en las medidas de dichos índices. Por ambas razones, en las distintas campañas se han observado una amplia muestra de estrellas de la librería de Lick/IDS.

El error correspondiente a cada medida individual tiene su origen en fuentes de naturaleza claramente diferenciada. Por un lado están los errores esperados, o de procedencia conocida, que pueden estimarse de forma precisa. Por otro, existen errores sistemáticos de origen no siempre conocido. Estos errores, que en adelante llamaremos residuales, se estimaron a partir de observaciones repetidas de algunas estrellas dentro de cada campaña.

Se define el error esperado (σ_{esp}) en la medida de un índice como la suma cuadrática de los errores provenientes de las distintas fuentes conocidas. Estas incluyen, en primer lugar, el error fotónico (σ_{fot}) debido a la propia estadística de los fotones. Esta incertidumbre se calcula a partir de los espectros de errores, en los cuales, se tienen en cuenta todas las incertidumbres debidas a los distintos pasos del proceso de reducción. Una segunda fuente de error es la imprecisión en la velocidad radial (σ_{vel}). Este error suele ser pequeño para las estrellas, pero relevante en algunos índices de las galaxias. La tercera contribución al error esperado es la incertidumbre en la calibración en flujo. Puesto que las distintas curvas respuesta obtenidas con cada una de las estrellas estándar dan lugar a distintos valores de los índices, se utilizará la dispersión en estos para estimar el error procedente de la calibración en flujo (σ_{flu}). Por tanto:

$$(\sigma_{\text{esp}}^{\text{obs}})^2 = \sigma_{\text{fot}}^2 + \sigma_{\text{vel}}^2 + \sigma_{\text{flu}}^2 \quad (3.17)$$

Si no hubiera más fuentes de error que las englobadas en $\sigma_{\text{esp}}^{\text{obs}}$, al realizar observaciones repetidas en una campaña de una misma estrella, la dispersión en los valores de los índices (a la que llamaremos $\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}$) debería coincidir con $\sigma_{\text{esp}}^{\text{obs}}$. Sin embargo, en general $\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}$ suele ser mayor que $\sigma_{\text{esp}}^{\text{obs}}$, lo que demuestra la existencia de

errores sistemáticos o residuales ($\sigma_{\text{res}}^{\text{obs}}$). Por lo tanto, el error total se puede calcular como:

$$(\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}(I_i)_e)^2 = (\sigma_{\text{esp}}^{\text{obs}}(I_i)_e)^2 + (\sigma_{\text{res}}^{\text{obs}}(I_i)_e)^2, \quad (3.18)$$

donde $\sigma(I_i)_e$ es el error asociado a la medida de un índice (I) en un espectro individual (e) de una estrella (i). A partir de esta ecuación, y con las observaciones repetidas, se calculan los errores residuales mediante el proceso que se describe a continuación.

Para las estrellas con observaciones repetidas el valor de un índice se calcula como la media de los valores medidos en cada uno de los espectros correspondientes a esa estrella, pesando estos con sus errores:

$$I_i = \frac{\sum_{e=1}^n (I_i)_e (\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}(I_i)_e)^{-2}}{\sum_{e=1}^n (\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}(I_i)_e)^{-2}}, \quad (3.19)$$

donde n es el número de observaciones repetidas. En el primer paso de un proceso iterativo, se toman como errores ($\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}(I_i)_e$) sólo los esperados ($\sigma_{\text{esp}}^{\text{obs}}(I_i)_e$).

El error del índice promedio en esa estrella se calcula como:

$$\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}(I_i) = \left(\sum_{e=1}^n (\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}(I_i)_e)^{-2} \right)^{-1/2} \quad (3.20)$$

A continuación se calcula lo que se desvía el valor de un índice, medido en un espectro individual, del valor medio para esa estrella. Para calcular una medida más fiable de la desviación estándar de las medidas de un índice se agrupan todas las estrellas con observaciones repetidas, es decir, para cada índice se calcula su desviación típica insesgada como:

$$(\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}(I))^2 = \frac{N_t \sum_{i=1}^N \sum_{e=1}^n [(I_i)_e - I_i]^2 (\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}(I_i)_e)^{-2}}{(N_t - 1) \sum_{i=1}^N \sum_{e=1}^n (\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}(I_i)_e)^{-2}}, \quad (3.21)$$

donde N es el número de estrellas con observaciones repetidas y N_t el número total de espectros para ellas.

Como el error esperado en la medida de un índice para una observación individual típica, es:

$$(\sigma_{\text{esp}}^{\text{obs}}(I))^2 = \frac{N_t}{\sum_{i=1}^N \sum_{e=1}^n (\sigma_{\text{esp}}^{\text{obs}}(I_i)_e)^{-2}} \quad (3.22)$$

En el caso de que $\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}$ sea mayor que $\sigma_{\text{esp}}^{\text{obs}}$, se calcula el error sistemático o residual de cada índice como la diferencia cuadrática de los anteriores:

$$(\sigma_{\text{res}}^{\text{obs}}(I))^2 = (\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}(I))^2 - (\sigma_{\text{esp}}^{\text{obs}}(I))^2, \quad (3.23)$$

y este error se puede introducir en la ecuación 3.18 para iterar de nuevo. Este proceso converge normalmente en dos o tres iteraciones. Los valores de los errores obtenidos en este análisis interno de cada campaña, se listan en la parte izquierda de la tabla 3.6.

Es de esperar que los errores residuales que se han calculado afecten de igual forma a las estrellas para las que no se tienen observaciones repetidas. Por lo tanto, de forma general, se asociará a cada índice medido un error que será la suma cuadrática del esperado más el residual (cuando exista).

3.2.3. Transformación de los índices al sistema de Lick

El objetivo final de la medida de los índices en las galaxias observadas es analizar sus poblaciones estelares a través de la comparación con las predicciones de modelos de síntesis evolutiva. Para ello, es necesario asegurarse de que tanto las medidas como los modelos están en un mismo sistema espectrofotométrico. Los modelos que se utilizarán emplean las funciones de ajuste empíricas derivadas por Gorgas et al. (1993) y Worthey et al. (1994) a partir de la librería de Lick/IDS. Por dicha razón, en cada campaña se observaron una muestra significativa de estrellas de esta librería (ver tablas 3.7) para analizar las posibles diferencias entre los índices medidos y los originales con los que se definió el sistema. Posteriormente se aplicarán dichas diferencias para corregir de forma adecuada los índices medidos en las galaxias.

En principio, es de esperar que realmente existan diferencias. Por una parte, las observaciones presentes se realizaron con detectores CCD y los espectros se calibraron en flujo a partir de estrellas estándar espectrofotométricas, mientras que los espectros estelares de Lick se obtuvieron con el IDS y se calibraron usando una lámpara de tungsteno para obtener una respuesta espectral uniforme, lo cual no constituye una auténtica calibración en flujo. Esto supone una variación de la forma del continuo de los espectros estelares que se traduce en diferencias potenciales en los índices de intensidad de líneas. Por otro lado, los espectros originales de Lick tienen una resolución espectral que varía con la longitud de onda. Worthey y Ottaviani (1997) y Gorgas, Jablonka y Goudfrooij (2004) han analizado este efecto en detalle, degradando los espectros de estrellas de la librería observadas con mejor resolución y derivando la resolución espectral aproximada en la región en la que está definido cada índice. Por lo tanto, antes de medir los índices se han degradado los espectros observados, convolucionándolos con una función gaussiana de anchura adecuada (dependiente del índice en cuestión), para reproducir la resolución correspondiente a la

Tabla 3.6: Análisis de los índices medidos en las estrellas observadas en cada campaña para su transformación al sistema de Lick. En el texto se describe el significado de los valores de cada columna.

Lick – Campaña 1								
Indice	σ_{ins}	$\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}$	$\sigma_{\text{res}}^{\text{obs}}$	Offset	$\sigma_{\text{int}}^{\text{Lick}}$	σ	σ_{esp}	t
H β	225	0.036	0.000	−0.075	0.22	0.145	0.154	2.82
Fe5015	200	0.128	0.000	0.123	0.46	0.323	0.356	2.16
Mg ₁	200	0.010	0.000	0.012	0.007	0.017	0.015	3.65
Mg ₂	200	0.006	0.000	0.014	0.008	0.013	0.012	4.49
Mgb	200	0.081	0.060	−0.018	0.23	0.218	0.178	0.52
Fe5270	200	0.071	0.034	−0.080	0.28	0.184	0.183	2.45
Fe5335	200	0.051	0.000	0.020	0.26	0.164	0.163	0.73
Fe5406	200	0.050	0.018	−0.019	0.20	0.174	0.131	0.64
Fe5709	200	0.038	0.012	0.100	0.18	0.104	0.110	4.13
Fe5782	200	0.031	0.001	0.032	0.20	0.094	0.107	1.90
Na5895	200	0.053	0.000	0.103	0.24	0.145	0.148	3.56

Lick – Campaña 2								
Indice	σ_{ins}	$\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}$	$\sigma_{\text{res}}^{\text{obs}}$	Offset	$\sigma_{\text{int}}^{\text{Lick}}$	σ	σ_{esp}	t
H δ_{A}	325			−0.605	0.021	0.252	0.190	1.34
H δ_{F}	325			−0.049	0.023	0.009	0.122	1.40
CN ₁	325			0.016	0.27	0.013	0.008	1.62
CN ₂	325			0.016	0.39	0.015	0.008	1.56
Ca4227	300			−0.054	0.53	0.070	0.105	1.31
G4300	300			−0.014	0.25	0.154	0.156	0.21
H γ_{A}	275			−0.041	0.42	0.487	0.187	0.19
H γ_{F}	275			0.015	0.64	0.143	0.098	0.19
D4000				0.239		0.645		

Lick – Campaña 3								
Indice	σ_{ins}	$\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}$	$\sigma_{\text{res}}^{\text{obs}}$	Offset	$\sigma_{\text{int}}^{\text{Lick}}$	σ	σ_{esp}	t
H β	225			−0.122	0.22	0.237	0.226	1.03
Fe5015	200			0.535	0.46	0.646	0.472	1.66
Mg ₁	200			0.010	0.007	0.017	0.010	1.23
Mg ₂	200			0.004	0.008	0.014	0.010	0.62
Mgb	200			−0.118	0.23	0.165	0.235	1.43
Fe5270	200			−0.231	0.28	0.277	0.285	1.67
Fe5335	200			0.041	0.26	0.117	0.267	0.71
Fe5406	200			−0.131	0.20	0.255	0.206	1.03

Tabla 3.6: (*continuación*)

Lick – Campaña 4 (azul)								
Indice	σ_{ins}	$\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}$	$\sigma_{\text{res}}^{\text{obs}}$	Offset	$\sigma_{\text{int}}^{\text{Lick}}$	σ	σ_{esp}	t
H δ_{A}	325	0.057	0.000	−0.124	0.64	0.307	0.261	1.11
H δ_{F}	325	0.052	0.041	0.064	0.40	0.238	0.169	0.77
CN ₁	325	0.003	0.000	−0.005	0.021	0.042	0.010	0.39
CN ₂	325	0.004	0.000	−0.013	0.023	0.048	0.011	0.80
Ca4227	300	0.024	0.000	0.110	0.27	0.328	0.115	1.00
G4300	300	0.152	0.000	−0.176	0.39	0.473	0.258	1.15
H γ_{A}	275	0.156	0.000	0.486	0.48	0.800	0.521	1.62
H γ_{F}	275	0.050	0.000	−0.270	0.33	0.347	0.263	1.90
Fe4383	250	0.443	0.000	1.039	0.53	0.731	0.701	2.49
Ca4455	250	0.074	0.000	0.352	0.25	0.207	0.163	2.62
D4000	raw	0.144	0.000	0.447		0.220		6.74

Lick – Campaña 4 (rojo)								
Indice	σ_{ins}	$\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}$	$\sigma_{\text{res}}^{\text{obs}}$	Offset	$\sigma_{\text{int}}^{\text{Lick}}$	σ	σ_{esp}	t
Fe4531	250	0.550	0.000	0.442	0.42	1.090	0.530	1.67
Fe4668	250	1.139	0.697	−2.937	0.64	3.457	1.670	3.50
H β	225	0.098	0.091	−0.196	0.22	0.283	0.149	2.94
Fe5015	200	0.269	0.000	−0.706	0.46	0.796	0.349	3.66
Mg ₁	200	0.006	0.000	0.034	0.007	0.048	0.011	3.02
Mg ₂	200	0.007	0.000	0.032	0.008	0.046	0.015	2.90
Mgb	200	0.088	0.083	−0.028	0.23	0.169	0.148	0.70
Fe5270	200	0.155	0.142	0.219	0.28	0.366	0.205	2.54
Fe5335	200	0.166	0.161	−0.062	0.26	0.296	0.203	0.89
Fe5406	200	0.115	0.110	0.015	0.20	0.122	0.147	0.50
Fe5709	200	0.068	0.064	−0.055	0.18	0.212	0.114	1.07

Tabla 3.6: (*continuación*)

Indice	σ_{ins}	$\sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}$	$\sigma_{\text{res}}^{\text{obs}}$	Lick – Campaña 6				
				Offset	$\sigma_{\text{int}}^{\text{Lick}}$	σ	σ_{esp}	t
H δ_{A}	325	0.067	0.640	0.836	0.64	1.851	0.731	1.92
H δ_{F}	325	0.036	0.048	−0.095	0.40	0.409	0.213	0.98
CN ₁	325	0.002	0.061	0.016	0.021	0.067	0.044	1.04
CN ₂	325	0.002	0.040	0.010	0.023	0.044	0.033	1.01
Ca4227	300	0.029	0.044	0.030	0.27	0.159	0.135	0.83
G4300	300	0.055	0.104	0.032	0.39	0.363	0.235	0.38
H γ_{A}	275	0.076	0.235	0.209	0.48	0.544	0.371	1.67
H γ_{F}	275	0.041	0.084	0.134	0.33	0.256	0.194	2.29
Fe4383	250	0.087	0.152	0.150	0.53	0.325	0.323	1.96
Ca4455	250	0.061	0.000	0.360	0.25	0.443	0.150	3.55
Fe4531	250	0.075	0.092	0.272	0.42	0.418	0.249	2.84
Fe4668	250	0.143	0.078	−0.123	0.64	0.539	0.334	0.99
H β	225	0.053	0.026	−0.082	0.22	0.179	0.118	2.00
Fe5015	200	0.130	0.151	−0.012	0.46	0.475	0.322	0.11
Mg ₁	200	0.004	0.003	0.015	0.007	0.018	0.006	3.53
Mg ₂	200	0.005	0.000	0.010	0.008	0.015	0.007	2.99
Mgb	200	0.071	0.000	−0.104	0.23	0.273	0.137	1.66
Fe5270	200	0.080	0.000	−0.017	0.28	0.153	0.147	0.49
Fe5335	200	0.090	0.000	−0.111	0.26	0.175	0.143	2.76
Fe5406	200	0.070	0.000	−0.039	0.20	0.149	0.117	1.14

Tabla 3.7: Índices medidos en los espectros estelares – Campaña 1.

T.esp.	T_{ef}	$\log g$	[Fe/H]	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	Na5895
				σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
HD37160	K0IIb	4668	2.46	-0.50	1.241	3.962	0.041	0.152	2.889	2.340	1.794	1.228	0.789	1.350
					0.051	0.158	0.015	0.011	0.038	0.045	0.045	0.035	0.027	0.047
HD38751	G8III-IV	4748	2.27	0.04	1.941	6.379	0.071	0.201	3.097	3.528	2.820	1.959	1.133	2.688
					0.066	0.173	0.015	0.011	0.054	0.060	0.063	0.049	0.039	0.053
HD48433	K1III	4460	1.88	-0.25	1.329	6.329	0.063	0.186	2.896	3.488	2.778	2.122	1.265	2.526
					0.071	0.178	0.015	0.011	0.058	0.065	0.065	0.051	0.041	0.054
HD49161	K4III	4180	1.46	0.08	1.034	7.826	0.141	0.313	3.883	4.441	4.059	3.019	1.525	4.704
					0.058	0.155	0.014	0.011	0.046	0.056	0.048	0.042	0.032	0.042
HD54810	K0III	4697	2.35	-0.33	1.372	4.780	0.051	0.166	2.785	2.930	2.197	1.582	1.038	1.805
					0.057	0.162	0.015	0.011	0.044	0.051	0.051	0.040	0.030	0.047
HD72324	G9III	4885	2.13	0.16	1.650	6.191	0.036	0.145	2.385	3.186	2.551	1.746	1.207	1.995
					0.053	0.152	0.015	0.011	0.045	0.046	0.047	0.036	0.028	0.047
HD73593	G8IV	4717	2.25	-0.15	1.447	5.162	0.047	0.171	3.069	3.052	2.502	1.742	0.933	1.889
					0.050	0.153	0.015	0.011	0.036	0.043	0.043	0.035	0.028	0.045
HD73665	G8III	4964	2.35	0.13	1.892	6.582	0.044	0.146	2.329	3.200	2.582	1.848	1.195	2.526
					0.054	0.152	0.015	0.011	0.045	0.047	0.047	0.036	0.028	0.045
HD73665	G8III	4964	2.35	0.13	1.851	6.562	0.014	0.131	2.417	3.231	2.555	1.749	1.116	2.467
					0.085	0.195	0.015	0.011	0.072	0.076	0.082	0.062	0.048	0.064
HD73665	G8III	4964	2.35	0.13	1.892	6.566	0.035	0.139	2.285	3.229	2.449	1.757	1.106	2.473
					0.076	0.186	0.015	0.011	0.068	0.070	0.074	0.056	0.045	0.059
HD75732	G8V	5079	4.48	0.16	2.039	5.969	0.082	0.284	5.458	3.772	3.091	2.005	1.032	3.776
					0.049	0.155	0.015	0.011	0.035	0.049	0.045	0.035	0.030	0.046
HD86728	G3Va	5742	4.21	0.13	2.817	4.531	0.006	0.134	3.186	2.732	1.930	1.120	0.732	1.700
					0.042	0.144	0.015	0.011	0.032	0.040	0.037	0.028	0.022	0.043
HD88230	K5	3861	4.68	-0.93	-0.927	5.133	0.360	0.486	4.595	4.586	4.275	3.131	0.641	10.710
					0.065	0.183	0.015	0.011	0.051	0.045	0.055	0.034	0.028	0.033
HD102328	K3III	4395	2.09	0.35	1.210	7.353	0.156	0.321	4.345	4.315	3.903	2.833	1.425	4.612
					0.059	0.160	0.014	0.011	0.059	0.053	0.049	0.044	0.033	0.043
HD129312	G7III	4880	2.45	-0.06	1.897	6.469	0.049	0.134	1.906	3.105	2.437	1.616	1.094	1.974
					0.048	0.149	0.015	0.011	0.040	0.043	0.043	0.032	0.028	0.044
HD134083	F5V	6575	4.32	0.00	4.395	3.085	0.012	0.072	1.219	1.269	0.902	0.410	0.289	0.760
					0.050	0.168	0.015	0.011	0.049	0.055	0.059	0.044	0.034	0.053
HD136028	K5III	3995	1.90	0.19	0.849	6.550	0.202	0.345	3.578	3.938	3.904	2.645	1.305	4.081
					0.099	0.241	0.014	0.010	0.083	0.098	0.085	0.074	0.046	0.053
HD136028	K5III	3995	1.90	0.19	0.710	6.937	0.194	0.342	3.584	4.327	3.806	2.925	1.419	3.924
					0.096	0.215	0.014	0.011	0.080	0.088	0.082	0.062	0.047	0.058
HD141680	G8III	4730	2.52	-0.21	1.531	5.447	0.037	0.146	2.601	2.929	2.263	1.603	0.991	1.849
					0.056	0.158	0.015	0.011	0.044	0.049	0.050	0.038	0.029	0.047
HD141680	G8III	4730	2.52	-0.21	1.467	5.317	0.015	0.120	2.270	2.765	2.170	1.629	1.069	1.754
					0.061	0.161	0.015	0.011	0.049	0.053	0.054	0.041	0.031	0.051

Tabla 3.7: (continuación) Campaña 1.

	T.esp.	T_{ef}	$\log g$	[Fe/H]	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	Na5895
					σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
HD142091	K1IVa	4796	3.22	0.00	1.630	5.737	0.072	0.228	4.066	3.534	2.781	2.056	1.121	0.862	2.589
					0.061	0.170	0.015	0.011	0.048	0.055	0.057	0.045	0.037	0.029	0.051
HD142980	K1IV	4549	2.74	0.11	1.290	6.305	0.127	0.290	4.517	3.687	3.157	2.205	1.301	1.108	3.003
					0.058	0.163	0.015	0.011	0.044	0.051	0.051	0.041	0.035	0.026	0.047
HD145148	K1.5IV	4849	3.45	0.10	1.488	5.458	0.095	0.270	4.688	3.481	2.894	2.010	1.050	0.872	2.922
					0.095	0.222	0.015	0.011	0.081	0.089	0.095	0.071	0.055	0.049	0.070
HD145675	K0V	5264	4.66	0.34	2.126	5.850	0.082	0.285	5.455	3.807	3.105	1.997	1.067	0.832	3.666
					0.070	0.182	0.015	0.011	0.056	0.067	0.068	0.052	0.042	0.036	0.057
HD147379a	K7	3720	4.67	-1.40	-0.598	4.934	0.340	0.455	4.368	4.272	4.306	3.134	0.525	1.061	10.878
					0.110	0.251	0.014	0.011	0.089	0.084	0.085	0.059	0.045	0.043	0.047
HD147379b	M3	3247	4.84		1.555	4.644	0.220	0.411	5.473	2.741	1.829	1.534	-0.416	-0.048	9.692
					0.261	0.525	0.015	0.013	0.203	0.215	0.227	0.153	0.125	0.118	0.127
HD149661	K2V	5159	4.56	0.13	1.784	4.479	0.046	0.240	5.021	3.306	2.689	1.743	0.899	0.592	2.845
					0.067	0.177	0.015	0.011	0.053	0.065	0.064	0.048	0.037	0.032	0.054
HD157089	F9V	5785	4.12	-0.56	2.575	2.813	0.019	0.100	2.042	1.436	0.886	0.482	0.280	0.182	0.784
					0.064	0.187	0.015	0.011	0.061	0.068	0.074	0.055	0.042	0.039	0.061
HD160693	G0V	5768	4.14	-0.61	2.658	2.544	0.012	0.092	2.299	1.282	0.910	0.584	0.344	0.108	0.911
					0.070	0.192	0.015	0.011	0.062	0.071	0.077	0.056	0.043	0.040	0.061
HD165195	K3p	4471	1.11	-2.15	1.167	1.696	0.003	0.047	0.591	1.053	0.749	0.378	0.223	0.185	1.234
					0.070	0.183	0.014	0.011	0.058	0.064	0.066	0.048	0.034	0.030	0.052
HD165760	G8III	4932	2.55	-0.04	1.855	5.759	0.052	0.152	2.263	3.043	2.391	1.582	1.104	0.775	1.920
					0.064	0.168	0.014	0.011	0.055	0.056	0.059	0.044	0.032	0.027	0.050
HD166620	K2V	4944	4.47	-0.23	1.150	4.074	0.107	0.339	6.238	3.326	2.742	1.892	0.870	0.610	3.402
					0.056	0.167	0.015	0.011	0.039	0.054	0.050	0.038	0.029	0.025	0.047
HD166620	K2V	4944	4.47	-0.23	1.180	4.511	0.111	0.332	6.247	3.308	2.776	1.936	0.847	0.627	3.396
					0.058	0.168	0.015	0.011	0.041	0.055	0.052	0.040	0.031	0.027	0.047
HD167042	K1III	4927	3.46	-0.19	1.599	5.675	0.052	0.189	3.527	3.032	2.656	1.822	0.936	0.778	2.159
					0.061	0.167	0.015	0.011	0.048	0.055	0.057	0.043	0.035	0.030	0.051
HD175751	K2III	4680	2.49	-0.03	1.580	6.191	0.065	0.186	3.063	3.222	2.785	2.150	1.139	0.965	2.355
					0.079	0.189	0.015	0.011	0.065	0.072	0.075	0.056	0.044	0.037	0.058
HD184492	G8IIIa	4529	2.11	-0.04	1.881	6.278	0.039	0.139	1.988	3.119	2.523	1.697	1.183	0.945	2.354
					0.057	0.155	0.015	0.011	0.045	0.050	0.050	0.039	0.031	0.024	0.047
HD185144	K0V	5260	4.55	-0.24	1.628	3.792	0.061	0.227	4.632	2.806	2.241	1.475	0.757	0.449	2.334
					0.043	0.149	0.015	0.011	0.028	0.041	0.034	0.026	0.020	0.016	0.042
HD186408	G1.5Vb	5815	4.30	0.09	2.835	3.952	0.001	0.111	2.738	2.132	1.626	1.011	0.630	0.441	1.363
					0.057	0.165	0.015	0.011	0.049	0.056	0.057	0.044	0.033	0.030	0.054
HD187691	F8V	6107	4.30	0.11	3.516	3.894	-0.002	0.082	1.959	1.773	1.328	0.739	0.535	0.318	1.025
					0.041	0.148	0.015	0.011	0.036	0.041	0.040	0.030	0.024	0.020	0.045
HD187923	G0V	5662	4.21	-0.09	2.625	3.360	0.001	0.104	2.786	1.843	1.318	0.830	0.590	0.308	1.193
					0.061	0.174	0.015	0.011	0.051	0.060	0.063	0.047	0.036	0.033	0.055

Tabla 3.7: (continuación) Campañas 1, 2 y 3.

	T.esp.	T_{ef}	$\log g$	[Fe/H]	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	Na5895
					σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
HD188056	K3III	4244	2.01	0.17	1.248	7.653	0.184	0.358	4.635	4.401	4.166	2.842	1.428	1.509	5.526
					0.053	0.155	0.015	0.011	0.059	0.049	0.044	0.040	0.032	0.024	0.040
HD199580	K0III-IV	5039	3.50	-0.13	1.504	4.703	0.066	0.194	3.479	3.063	2.303	1.584	0.922	0.769	1.896
					0.058	0.165	0.015	0.011	0.044	0.051	0.053	0.039	0.033	0.027	0.048
HD199580	K0III-IV	5039	3.50	-0.13	1.455	4.717	0.046	0.188	3.563	3.048	2.413	1.594	0.995	0.719	1.997
					0.092	0.216	0.015	0.011	0.077	0.086	0.092	0.069	0.053	0.048	0.070
HD199580	K0III-IV	5039	3.50	-0.13	1.514	4.931	0.075	0.197	3.473	3.001	2.372	1.655	0.930	0.696	2.029
					0.057	0.166	0.015	0.011	0.043	0.051	0.052	0.040	0.031	0.026	0.048
HD201626	G9p	4941	2.00	-1.50	0.999	1.119	0.238	0.120	-0.661	1.201	0.343	0.350	0.241	-0.080	1.169
					0.070	0.198	0.015	0.011	0.113	0.063	0.068	0.050	0.038	0.034	0.055
HD201626	G9p	4941	2.00	-1.50	1.142	1.007	0.226	0.120	-0.518	1.084	0.547	0.290	0.139	0.025	1.258
					0.092	0.237	0.015	0.011	0.131	0.089	0.099	0.074	0.053	0.049	0.070

	T.esp.	T_{ef}	$\log g$	[Fe/H]	D4000	H δ_{A}	H δ_{F}	CN1	CN2	Ca4227	G4300	H γ_{A}	H γ_{F}
					σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
M92-IX-12		5677	1.93	-2.16	1.249	3.057	2.180	-0.047	-0.043	-0.166	1.460	1.844	2.784
					0.023	0.893	0.630	0.026	0.032	0.484	0.820	0.781	0.475
M92-XII-24		11100	3.75	-2.16	1.176	11.064	8.577	-0.277	-0.173	0.495	-4.729	10.608	9.009
					0.023	0.852	0.596	0.030	0.036	0.532	1.161	0.818	0.495
M107-04		6039	2.75	-0.95	2.707	1.186	1.112	-0.064	-0.111	0.402	-0.789	2.411	4.318
					0.312	2.974	2.097	0.077	0.098	1.225	2.602	2.275	1.286
M107-45		5856	2.84	-0.95	1.390	8.656	7.494	-0.166	-0.109	0.653	0.070	6.328	5.763
					0.035	1.039	0.699	0.033	0.041	0.583	1.060	0.944	0.578
hd165760	G8III	4932	2.55	-0.04	2.826	-4.053	-0.991	0.152	0.179	0.565	6.446	-7.276	-1.925
					0.003	0.045	0.032	0.001	0.001	0.021	0.034	0.038	0.023

	T.esp.	T_{ef}	$\log g$	[Fe/H]	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406
					σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
HD114710	F9.5V	5975	4.40	0.09	3.215	3.402	0.008	0.097	2.202	1.912	1.546	0.807
					0.050	0.110	0.005	0.005	0.053	0.060	0.069	0.054
HD137759	K2III	4498	2.38	0.05	1.346	6.481	0.119	0.271	3.826	3.938	3.418	2.400
					0.024	0.048	0.007	0.006	0.023	0.025	0.029	0.023
HD141144	K0III	4750	2.10		1.281	5.549	0.075	0.195	3.089	3.362	2.718	1.951
					0.031	0.062	0.007	0.007	0.029	0.030	0.035	0.028
HD141680	G8III	4730	2.52	-0.21	1.737	5.457	0.045	0.134	2.354	2.879	2.252	1.629
					0.089	0.169	0.007	0.006	0.079	0.084	0.094	0.072

Tabla 3.7: (continuación) Campaña 4.

	T.esp.	T_{ef}	$\log g$	[Fe/H]	H δ_A σ	H δ_F σ	CN ₁ σ	CN ₂ σ	Ca4227 σ	G4300 σ	H γ_A σ	H γ_F σ	Fe4383 σ	Ca4455 σ	D_{4000} σ
HD 37160	K0IIIb	4668	2.46	-0.50	-2.935 0.124	-0.735 0.083	0.018 0.007	0.042 0.007	0.848 0.056	6.807 0.224	-8.418 0.624	-2.536 0.289	5.163 1.016	1.018 0.164	2.754 0.243
HD 38751	G8III-IV	4748	2.27	0.04	-3.735 0.123	-0.611 0.083	0.200 0.006	0.242 0.007	0.904 0.054	5.844 0.232	-8.308 0.673	-1.888 0.272	6.851 0.910	1.383 0.160	2.308 0.201
HD 38751	G8III-IV	4748	2.27	0.04	-3.805 0.094	-0.492 0.062	0.196 0.005	0.237 0.007	0.833 0.040	5.821 0.223	-8.138 0.658	-1.810 0.270	6.435 0.892	1.470 0.147	2.188 0.191
HD 38751	G8III-IV	4748	2.27	0.04	-3.970 0.092	-0.608 0.058	0.210 0.006	0.254 0.008	0.781 0.039	6.000 0.219	-7.867 0.640	-1.712 0.273	5.121 0.862	1.596 0.142	1.837 0.161
HD 38751	G8III-IV	4748	2.27	0.04	-3.833 0.094	-0.616 0.060	0.207 0.006	0.251 0.008	0.847 0.040	5.994 0.219	-8.057 0.651	-1.797 0.271	5.332 0.853	1.633 0.143	1.778 0.156
HD 49161	K4III	4180	1.46	0.08	-6.933 0.108	-1.957 0.075	0.224 0.004	0.273 0.007	3.216 0.037	6.267 0.258	11.280 0.564	2.576 0.351	7.959 0.844	2.540 0.137	3.358 0.294
HD 72324	G9III	4885	2.13	0.16	-5.056 0.080	-1.405 0.050	0.242 0.006	0.277 0.007	0.397 0.034	6.689 0.215	8.684 0.609	2.120 0.292	4.684 0.884	1.468 0.138	2.305 0.202
HD 72324	G9III	4885	2.13	0.16	-5.239 0.082	-1.483 0.053	0.242 0.006	0.275 0.007	0.490 0.036	6.658 0.215	-8.576 0.600	-1.989 0.297	4.484 0.885	1.630 0.136	2.419 0.211
HD 73665	G8III	4964	2.35	0.13	-5.076 0.087	-1.228 0.054	0.257 0.006	0.291 0.007	0.415 0.036	6.450 0.216	-8.175 0.609	-1.765 0.288	4.519 0.861	1.497 0.140	2.235 0.195
HD 73665	G8III	4964	2.35	0.13	-4.808 0.082	-1.093 0.048	0.256 0.006	0.289 0.007	0.396 0.033	6.414 0.216	-8.189 0.610	-1.747 0.287	4.589 0.860	1.664 0.137	2.209 0.193
HD 73665	G8III	4964	2.35	0.13	-4.951 0.085	-1.259 0.051	0.256 0.006	0.288 0.007	0.392 0.035	6.433 0.215	-8.268 0.618	-1.762 0.285	4.709 0.858	1.523 0.139	2.197 0.192
HD 73710	G9III	4930	2.33	0.28	-4.947 0.078	-1.149 0.048	0.252 0.005	0.286 0.006	0.376 0.032	6.402 0.215	-8.357 0.621	-1.820 0.285	4.935 0.867	1.494 0.139	2.283 0.199
HD 73710	G9III	4930	2.33	0.28	-4.838 0.078	-1.118 0.046	0.253 0.005	0.286 0.006	0.439 0.032	6.400 0.216	-8.213 0.616	-1.750 0.284	4.811 0.870	1.508 0.139	2.281 0.199
HD 75732	G8V	5079	4.48	0.16	-5.495 0.090	-1.434 0.054	0.277 0.005	0.314 0.006	0.368 0.037	6.667 0.217	-8.899 0.611	-2.170 0.298	5.163 0.879	1.589 0.138	2.352 0.205
HD 75732	G8V	5079	4.48	0.16	-5.473 0.096	-1.389 0.058	0.279 0.005	0.316 0.007	0.402 0.040	6.744 0.217	-8.939 0.609	-2.143 0.300	5.014 0.877	1.663 0.139	2.377 0.207
HD 88230	K5	3861	4.68	-0.93	-4.894 0.295	-1.083 0.196	0.131 0.009	0.197 0.011	2.944 0.111	6.304 0.318	10.021 0.597	-2.592 0.367	5.868 0.962	2.326 0.224	3.263 0.290
HD142980	K1IV	4549	2.74	0.11	-6.287 0.082	-1.862 0.057	0.217 0.005	0.260 0.006	1.400 0.043	6.417 0.223	10.892 0.643	-2.800 0.310	7.794 0.914	1.964 0.136	3.014 0.262
HD145675	K0V	5264	4.66	0.34	-5.262 0.080	-0.754 0.052	0.132 0.007	0.163 0.008	1.344 0.038	6.080 0.223	-8.524 0.646	-2.225 0.279	5.772 0.856	1.699 0.143	2.020 0.176
HD161797	G5IV	5411	3.87	0.16	-1.849 0.031	0.353 0.022	0.014 0.007	0.037 0.008	0.730 0.016	5.209 0.200	-5.282 0.629	-0.704 0.239	4.257 0.950	1.090 0.134	1.847 0.162
HD161797	G5IV	5411	3.87	0.16	-1.839 0.031	0.402 0.022	0.022 0.007	0.048 0.008	0.723 0.016	5.843 0.201	-5.542 0.610	-0.823 0.247	3.282 0.921	1.233 0.128	1.696 0.149

Tabla 3.7: (continuación) Campaña 4.

	T.esp.	T_{ef}	$\log g$	[Fe/H]	Fe4531 σ	Fe4668 σ	H β σ	Fe5015 σ	Mg ₁ σ	Mg ₂ σ	Mgb σ	Fe5270 σ	Fe5335 σ	Fe5406 σ	Fe5709 σ
HD 37160	K0IIIb	4668	2.46	-0.50	3.319	8.905	1.289	4.308	0.028	0.132	2.706	1.603	1.360	0.911	0.823
					0.591	0.879	0.030	0.293	0.014	0.020	0.019	0.057	0.033	0.027	0.015
HD 37160	K0IIIb	4668	2.46	-0.50	3.117	9.030	1.311	4.549	0.049	0.162	2.876	2.151	1.821	1.220	0.941
					0.566	0.840	0.034	0.298	0.014	0.020	0.023	0.059	0.036	0.029	0.017
HD 37160	K0IIIb	4668	2.46	-0.50	3.340	6.032	1.294	4.869	0.040	0.143	2.847	2.087	1.898	1.244	0.835
					0.661	0.925	0.033	0.288	0.015	0.021	0.025	0.057	0.038	0.028	0.020
HD 38751	G8III-IV	4748	2.27	0.04	4.699	12.264	1.954	7.071	0.072	0.193	3.035	2.960	2.880	1.970	1.224
					0.633	0.884	0.034	0.278	0.015	0.020	0.024	0.057	0.037	0.030	0.025
HD 38751	G8III-IV	4748	2.27	0.04	4.004	12.409	1.928	6.974	0.080	0.206	2.911	3.099	3.087	1.941	1.155
					0.598	0.861	0.038	0.282	0.014	0.020	0.029	0.060	0.041	0.034	0.026
HD 38751	G8III-IV	4748	2.27	0.04	3.854	9.708	2.145	7.168	0.057	0.184	3.089	3.216	2.971	2.065	1.274
					0.670	0.897	0.038	0.282	0.015	0.020	0.031	0.060	0.042	0.035	0.029
HD 38751	G8III-IV	4748	2.27	0.04	4.238	9.917	2.010	7.148	0.057	0.188	3.188	3.230	3.020	2.093	1.276
					0.683	0.917	0.044	0.283	0.015	0.021	0.038	0.065	0.051	0.041	0.033
HD 49161	K4III	4180	1.46	0.08	4.843	9.946	1.116	8.474	0.135	0.306	3.960	4.311	4.197	3.082	1.717
					0.630	0.871	0.052	0.289	0.013	0.019	0.047	0.071	0.049	0.047	0.029
HD 49161	K4III	4180	1.46	0.08	4.812	10.203	1.166	8.561	0.124	0.290	3.831	4.060	3.766	2.687	1.414
					0.628	0.889	0.030	0.276	0.014	0.020	0.028	0.062	0.033	0.033	0.020
HD 72324	G9III	4885	2.13	0.16	2.201	11.248	1.865	6.585	0.033	0.151	2.567	3.161	2.630	1.750	1.185
					0.550	0.883	0.040	0.290	0.014	0.020	0.039	0.061	0.046	0.035	0.028
HD 72324	G9III	4885	2.13	0.16	2.264	11.200	2.034	7.019	0.026	0.148	2.479	3.037	2.651	1.777	1.282
					0.558	0.888	0.039	0.286	0.015	0.020	0.038	0.061	0.045	0.034	0.027
HD 72324	G9III	4885	2.13	0.16	4.087	8.167	1.744	6.954	0.016	0.136	2.633	3.097	2.549	1.790	1.134
					0.683	0.908	0.040	0.291	0.015	0.020	0.038	0.062	0.046	0.037	0.029
HD 72324	G9III	4885	2.13	0.16	4.041	8.324	1.908	7.315	0.023	0.135	2.423	3.001	2.564	1.780	1.276
					0.687	0.913	0.041	0.287	0.015	0.020	0.038	0.062	0.045	0.037	0.028
HD 72324	G9III	4885	2.13	0.16	3.907	8.200	1.806	7.067	0.025	0.137	2.422	3.050	2.573	1.807	1.200
					0.684	0.900	0.040	0.289	0.014	0.020	0.037	0.061	0.045	0.036	0.026
HD 73593	G8IV	4717	2.25	-0.15	0.165	10.408	1.567	5.745	0.046	0.173	3.214	2.819	2.474	1.668	1.074
					0.574	0.899	0.033	0.286	0.015	0.020	0.025	0.056	0.037	0.029	0.022
HD 73593	G8IV	4717	2.25	-0.15	0.148	10.506	1.641	5.581	0.045	0.173	3.211	2.816	2.520	1.636	1.047
					0.575	0.904	0.031	0.287	0.015	0.020	0.024	0.057	0.036	0.028	0.021
HD 73593	G8IV	4717	2.25	-0.15	1.895	6.685	1.473	6.077	0.036	0.164	3.131	2.794	2.480	1.694	1.045
					0.660	0.911	0.037	0.289	0.015	0.020	0.028	0.058	0.041	0.032	0.026
HD 73593	G8IV	4717	2.25	-0.15	2.093	6.737	1.500	5.906	0.034	0.156	3.079	2.793	2.393	1.641	1.048
					0.660	0.908	0.032	0.288	0.014	0.020	0.023	0.055	0.036	0.029	0.021
HD 73665	G8III	4964	2.35	0.13	3.849	8.171	2.292	7.770	0.016	0.122	2.539	3.256	2.601	1.693	1.387
					0.690	0.908	0.045	0.288	0.014	0.020	0.040	0.065	0.052	0.039	0.032
HD 73665	G8III	4964	2.35	0.13	4.037	7.820	2.076	7.595	0.022	0.126	2.438	3.466	2.609	1.772	1.381
					0.694	0.907	0.044	0.288	0.015	0.020	0.040	0.062	0.048	0.036	0.031

Tabla 3.7: (continuación) Campaña 4.

	T.esp.	T_{ef}	$\log g$	[Fe/H]	Fe4531 σ	Fe4668 σ	H β σ	Fe5015 σ	Mg ₁ σ	Mg ₂ σ	Mgb σ	Fe5270 σ	Fe5335 σ	Fe5406 σ	Fe5709 σ
HD 73665	G8III	4964	2.35	0.13	3.818	8.551	1.922	7.673	0.017	0.125	2.432	3.318	2.646	1.703	1.336
					0.690	0.900	0.044	0.287	0.015	0.020	0.039	0.064	0.049	0.037	0.030
HD 73665	G8III	4964	2.35	0.13	2.955	8.862	2.150	6.970	0.020	0.130	2.283	3.028	2.678	1.795	1.211
					0.656	0.892	0.040	0.289	0.014	0.020	0.039	0.063	0.046	0.037	0.030
HD 73665	G8III	4964	2.35	0.13	3.035	8.313	2.015	7.438	0.018	0.129	2.274	3.150	2.747	1.885	1.216
					0.659	0.896	0.041	0.287	0.014	0.020	0.038	0.061	0.045	0.034	0.027
HD 73710	G9III	4930	2.33	0.28	2.877	9.593	2.043	7.647	0.030	0.145	2.600	3.250	2.943	1.918	1.279
					0.662	0.882	0.041	0.287	0.014	0.020	0.037	0.063	0.048	0.037	0.030
HD 73710	G9III	4930	2.33	0.28	2.834	9.364	1.832	7.510	0.027	0.140	2.536	3.200	2.850	1.735	1.200
					0.663	0.882	0.050	0.293	0.014	0.020	0.044	0.069	0.055	0.042	0.034
HD 88230	K5	3861	4.68	-0.93	3.423	6.907	0.858	6.744	0.178	0.315	4.047	3.191	3.187	2.538	1.426
					0.700	0.950	0.126	0.365	0.014	0.020	0.112	0.133	0.128	0.093	0.075
HD102328	K3III	4395	2.09	0.35	4.701	12.086	1.361	8.340	0.154	0.308	4.210	3.876	3.941	2.852	1.471
					0.643	0.840	0.034	0.271	0.014	0.020	0.047	0.060	0.035	0.034	0.026
HD129312	G7III	4880	2.45	-0.06	2.371	6.931	1.942	7.212	0.029	0.112	1.942	2.710	2.288	1.597	1.075
					0.713	0.906	0.032	0.280	0.015	0.021	0.027	0.056	0.036	0.028	0.022
HD142091	K1IVa	4796	3.22	0.00	2.533	7.210	1.559	6.244	0.040	0.184	3.853	2.580	2.275	1.604	1.119
					0.673	0.909	0.031	0.282	0.015	0.021	0.021	0.056	0.035	0.028	0.021
HD142091	K1IVa	4796	3.22	0.00	2.523	7.679	1.581	6.504	0.051	0.205	3.955	2.679	2.882	1.890	1.146
					0.668	0.906	0.035	0.284	0.015	0.020	0.027	0.059	0.040	0.031	0.026
HD142091	K1IVa	4796	3.22	0.00	1.891	6.986	1.819	6.525	0.042	0.196	4.011	3.103	2.970	2.092	1.297
					0.676	0.908	0.042	0.289	0.014	0.020	0.035	0.064	0.049	0.037	0.029
HD142091	K1IVa	4796	3.22	0.00	2.404	7.377	1.600	6.299	0.044	0.202	3.976	2.974	2.733	1.924	1.141
					0.673	0.893	0.037	0.286	0.014	0.020	0.029	0.060	0.042	0.033	0.028
HD142860	F6IV	6249	4.16	-0.15	2.055	7.324	3.527	1.779	0.009	0.057	0.907	0.356	0.566	0.217	0.262
					0.546	0.988	0.025	0.288	0.016	0.022	0.023	0.056	0.035	0.027	0.014
HD142860	F6IV	6249	4.16	-0.15	2.163	8.092	3.854	3.222	-0.009	0.061	1.269	0.832	0.922	0.498	0.421
					0.552	0.954	0.027	0.294	0.015	0.021	0.030	0.059	0.038	0.028	0.017
HD142980	K1IV	4549	2.74	0.11	3.451	13.747	1.314	6.541	0.109	0.284	4.451	3.223	3.283	2.269	1.351
					0.507	0.863	0.037	0.284	0.014	0.020	0.029	0.061	0.040	0.035	0.025
HD145148	K1.5IV	4849	3.45	0.10	3.660	8.202	1.414	6.125	0.087	0.259	4.809	3.330	2.910	2.026	1.111
					0.679	0.874	0.037	0.283	0.014	0.020	0.030	0.059	0.041	0.032	0.029
HD145675	K0V	5264	4.66	0.34	3.673	9.866	2.178	6.783	0.069	0.268	5.179	3.347	3.186	1.998	1.112
					0.685	0.880	0.045	0.285	0.015	0.020	0.036	0.069	0.050	0.037	0.032
HD161797	G5IV	5411	3.87	0.16	2.576	7.138	2.591	5.860	0.032	0.144	2.930	2.179	2.179	1.155	1.141
					0.710	0.927	0.033	0.281	0.015	0.021	0.027	0.062	0.041	0.031	0.023
HD167042	K1III	4927	3.46	-0.19	2.242	9.956	1.719	6.061	0.037	0.186	3.631	2.921	2.542	1.820	1.211
					0.605	0.906	0.039	0.290	0.015	0.020	0.033	0.061	0.046	0.036	0.026
HD172958	B8V	11300	3.75		-1.264	3.321	7.558	0.498	-0.008	0.011	0.259	-0.142	0.120	0.094	-0.045
					0.679	1.031	0.043	0.299	0.016	0.022	0.039	0.068	0.058	0.042	0.032

Tabla 3.7: (continuación) Campaña 6.

	T.esp.	T_{ef}	$\log g$	[Fe/H]	$\text{H}\delta_{\text{A}}$	$\text{H}\delta_{\text{F}}$	CN ₁	CN ₂	Ca4227	G4300	H γ_{A}	H γ_{F}	Fe4383	Ca4455
					σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
HD 85503	K2III	4472	2.33	0.23	-7.336	-1.756	0.377	0.425	1.764	6.708	-11.337	-3.713	8.568	2.132
					0.060	0.042	0.002	0.002	0.020	0.043	0.073	0.036	0.060	0.067
HD 85503	K2III	4472	2.33	0.23	-6.817	-1.649	0.376	0.424	1.617	6.861	-10.937	-3.505	8.194	1.964
					0.098	0.065	0.003	0.004	0.037	0.071	0.105	0.057	0.097	0.080
HD113226	G8III	4983	2.80	0.05	-4.280	-1.004	0.181	0.207	0.505	6.314	-7.215	-1.830	5.319	1.488
					0.057	0.039	0.002	0.002	0.029	0.052	0.079	0.042	0.082	0.059
HD125454	G8III	4797	2.58	-0.15	-3.131	-0.018	0.107	0.115	0.709	4.767	-6.021	-2.064	4.215	1.642
					0.405	0.266	0.011	0.013	0.212	0.386	0.467	0.290	0.585	0.320
HD125454	G8III	4797	2.58	-0.15			-0.159	0.188	0.707	6.468	-8.163	-2.505	5.765	1.474
							0.002	0.002	0.038	0.067	0.099	0.055	0.109	0.068
HD140283	sdF3	5687	3.55	-2.53	1.171	2.320	-0.049	-0.021	0.080	0.403	2.294	2.151	0.079	0.104
					0.086	0.036	0.002	0.002	0.031	0.062	0.061	0.036	0.096	0.050
HD140283	sdF3	5687	3.55	-2.53	2.530	2.229	-0.049	-0.023	0.113	0.721	1.981	2.173	0.444	0.051
					0.064	0.043	0.003	0.003	0.038	0.075	0.074	0.045	0.115	0.062
HD141144	K0III	4750	2.10		-6.395	-1.511	0.165	0.201	1.193	6.468	-8.679	-2.821	6.397	1.471
					0.139	0.080	0.003	0.003	0.053	0.091	0.132	0.076	0.139	0.092
HD141144	K0III	4750	2.10		-5.217	-1.383	-0.085	0.110	1.146	6.557	-9.048	-2.906	6.661	1.627
					0.066	0.047	0.004	0.005	0.039	0.071	0.105	0.056	0.107	0.076
HD141144	K0III	4750	2.10		-7.646	-1.231	0.144	0.176	1.224	6.581	-8.459	-2.584	6.347	1.449
					0.152	0.053	0.002	0.002	0.029	0.055	0.087	0.044	0.081	0.066
HD141144	K0III	4750	2.10				0.141	0.170	1.246	6.400	-8.439	-2.543	6.426	1.588
							0.002	0.002	0.036	0.062	0.096	0.053	0.096	0.070
HD145675	K0V	5264	4.66	0.34	-6.582	-0.819	0.141	0.173	1.259	5.892	-7.855	-2.393	7.214	1.742
					0.095	0.045	0.002	0.002	0.032	0.056	0.086	0.048	0.086	0.065
HD145675	K0V	5264	4.66	0.34	-5.140	-0.703	0.138	0.166	1.291	5.837	-7.903	-2.371	7.132	1.757
					0.093	0.061	0.002	0.003	0.044	0.081	0.113	0.065	0.118	0.078
HD145675	K0V	5264	4.66	0.34	-4.916	-0.484	0.131	0.161	1.108	5.853	-7.516	-2.070	7.212	1.754
					0.131	0.085	0.003	0.004	0.062	0.107	0.145	0.085	0.155	0.098
HD145675	K0V	5264	4.66	0.34	-5.418	-0.771	0.134	0.165	1.311	6.151	-7.789	-2.228	7.095	1.708
					0.043	0.032	0.001	0.001	0.021	0.035	0.068	0.034	0.054	0.054
HD147379	K7	3720	4.67	-1.40	-2.855	0.003	-0.110	-0.063	5.271	3.768	-6.960	-2.624	6.326	2.030
					0.130	0.084	0.003	0.003	0.059	0.100	0.128	0.071	0.139	0.131
HD147379	K7	3720	4.67	-1.40	-1.667	0.127	-0.121	-0.080	5.212	3.945	-6.971	-2.501	5.867	2.083
					0.132	0.094	0.003	0.004	0.070	0.120	0.148	0.086	0.163	0.140
HD147379	K7	3720	4.67	-1.40			-0.202	-0.178	5.227	3.801	-6.992	-2.457	5.953	1.917
							0.004	0.004	0.058	0.067	0.095	0.048	0.106	0.126
HD152792	G0V	5612	4.12	-0.25	-0.576	1.061	-0.050	-0.026	0.556	5.099	-3.059	-0.161	2.817	0.655
					0.057	0.023	0.001	0.001	0.018	0.033	0.055	0.026	0.060	0.038
HD152792	G0V	5612	4.12	-0.25	0.446	1.098	-0.053	-0.028	0.633	5.140	-3.031	-0.070	2.930	0.558
					0.037	0.026	0.001	0.001	0.020	0.037	0.058	0.029	0.062	0.041

Tabla 3.7: (continuación) Campaña 6.

	T.esp.	T_{ef}	$\log g$	[Fe/H]	$H\delta_A$ σ	$H\delta_F$ σ	CN ₁ σ	CN ₂ σ	Ca4227 σ	G4300 σ	H γ_A σ	H γ_F σ	Fe4383 σ	Ca4455 σ
HD152792	G0V	5612	4.12	-0.25			-0.161 0.005	-0.169 0.007	0.719 0.026	5.080 0.048	-3.434 0.069	-0.248 0.037	3.308 0.081	0.700 0.047
HD152792	G0V	5612	4.12	-0.25			-0.099 0.004	-0.074 0.004	0.737 0.063	4.970 0.117	-3.060 0.143	-0.145 0.087	2.777 0.191	0.567 0.106
HD157089	F9V	5785	4.12	-0.56	-1.170 0.095	1.378 0.030	-0.050 0.001	-0.021 0.001	0.589 0.024	4.336 0.044	-1.774 0.061	0.493 0.033	2.172 0.073	0.452 0.043
HD157089	F9V	5785	4.12	-0.56			-0.074 0.002	-0.041 0.001	0.687 0.018	4.638 0.035	-2.746 0.051	0.259 0.026	2.996 0.058	0.462 0.038
HD161817	sdA2	7639	2.96	-0.95	7.195 0.096	6.740 0.039	-0.189 0.002	-0.109 0.004	0.073 0.023	-1.807 0.061	9.899 0.044	6.976 0.025	-1.347 0.089	0.021 0.040
HD166620	K2V	4944	4.47	-0.23	-6.233 0.089	-0.891 0.041	0.023 0.001	0.057 0.002	2.228 0.030	5.746 0.046	-8.061 0.077	-2.704 0.041	6.730 0.077	1.474 0.067
HD167042	K1III	4927	3.46	-0.19	-5.781 0.106	-1.020 0.054	0.130 0.002	0.160 0.002	0.920 0.039	6.100 0.068	-7.863 0.100	-2.654 0.057	6.020 0.111	1.318 0.076
HD175743	K1III	4635	2.45	-0.12	-7.179 0.114	-1.396 0.063	0.246 0.002	0.285 0.003	0.855 0.042	6.662 0.074	-8.999 0.110	-3.016 0.061	6.743 0.115	1.669 0.079
HD175743	K1III	4635	2.45	-0.12	-6.313 0.179	-1.594 0.116	0.229 0.005	0.256 0.006	0.870 0.073	6.926 0.121	-8.893 0.171	-2.744 0.097	7.006 0.170	1.530 0.104
HD175743	K1III	4635	2.45	-0.12	-7.953 0.185	-1.356 0.087	0.235 0.004	0.268 0.004	0.973 0.059	6.869 0.103	-8.858 0.146	-3.002 0.083	6.487 0.158	1.869 0.094
HD188056	K3III	4244	2.01	0.17	-9.279 0.141	-2.154 0.069	0.399 0.003	0.454 0.002	2.304 0.034	6.391 0.068	-11.332 0.101	-3.939 0.055	8.825 0.094	2.143 0.083
HD188056	K3III	4244	2.01	0.17	-9.399 0.262	-1.991 0.140	0.388 0.002	0.441 0.002	2.343 0.023	6.395 0.046	-11.523 0.077	-3.916 0.036	8.953 0.065	2.192 0.072
HD188056	K3III	4244	2.01	0.17			0.409 0.006	0.461 0.006	2.107 0.088	6.500 0.164	-11.070 0.222	-3.811 0.131	8.527 0.224	2.356 0.140
HD197076	G5V	5761	4.23	0.01	-1.104 0.062	1.148 0.021	-0.049 0.001	-0.020 0.001	0.854 0.015	4.518 0.027	-2.588 0.047	0.225 0.022	3.185 0.048	0.792 0.036
HD197076	G5V	5761	4.23	0.01	0.346 0.041	1.124 0.027	-0.072 0.002	-0.047 0.001	0.899 0.022	4.773 0.044	-2.976 0.060	0.271 0.033	3.285 0.072	0.784 0.047
HD197076	G5V	5761	4.23	0.01			-0.100 0.003	-0.069 0.002	0.922 0.016	4.653 0.030	-2.921 0.047	0.212 0.023	3.255 0.051	0.801 0.039
HD203344	K1III	4658	2.33	-0.17	-8.369 0.435	-2.254 0.268	0.210 0.011	0.238 0.012	1.279 0.188	6.980 0.332	-8.268 0.455	-2.647 0.275	6.201 0.517	1.506 0.288
HD203344	K1III	4658	2.33	-0.17			-0.101 0.008	0.107 0.010	0.597 0.123	7.256 0.200	-9.396 0.282	-3.092 0.168	6.457 0.307	1.545 0.175
HD232078	K3IIp	3996	0.30	-1.73	-4.827 0.246	-0.025 0.138	0.073 0.006	0.129 0.006	1.570 0.088	5.969 0.154	-6.415 0.196	-1.320 0.114	3.820 0.229	1.274 0.126
HD232078	K3IIp	3996	0.30	-1.73			-0.072 0.006	-0.098 0.009	1.349 0.058	5.741 0.099	-5.688 0.131	-0.884 0.073	3.656 0.147	1.516 0.081

Tabla 3.7: (continuación) Campaña 6.

	T.esp.	T_{ef}	$\log g$	[Fe/H]	Fe4531 σ	Fe4668 σ	H β σ	Fe5015 σ	Mg ₁ σ	Mg ₂ σ	Mgb σ	Fe5270 σ	Fe5335 σ	Fe5406 σ
HD 85503	K2III	4472	2.33	0.23	4.312	10.709	1.344	7.664	0.155	0.322	4.346	4.135	3.896	2.566
					0.062	0.094	0.034	0.076	0.003	0.004	0.048	0.046	0.050	0.043
HD 85503	K2III	4472	2.33	0.23	4.372	10.224	1.505	7.604	0.151	0.318	4.349	4.339	3.838	2.748
					0.096	0.138	0.059	0.135	0.004	0.005	0.078	0.082	0.092	0.072
HD113226	G8III	4983	2.80	0.05	3.302	6.260	1.934	6.594	0.032	0.139	2.293	2.962	2.461	1.494
					0.071	0.132	0.055	0.126	0.003	0.004	0.072	0.080	0.092	0.072
HD125454	G8III	4797	2.58	-0.15	3.847	5.286	0.999	6.721	0.047	0.172	2.964	2.503	2.853	1.838
					0.498	0.848	0.405	0.916	0.011	0.015	0.512	0.601	0.687	0.532
HD125454	G8III	4797	2.58	-0.15	3.725	6.200	1.569	5.899	0.045	0.152	2.474	3.246	2.488	1.634
					0.088	0.154	0.066	0.152	0.004	0.004	0.082	0.092	0.108	0.085
HD140283	sdF3	5687	3.55	-2.53	0.198	0.135	2.443	0.296	-0.009	0.007	0.492	0.230	0.233	0.127
					0.084	0.155	0.059	0.153	0.004	0.004	0.077	0.093	0.111	0.084
HD140283	sdF3	5687	3.55	-2.53	0.267	-0.352	2.417	0.088	-0.010	0.012	0.610	0.304	0.161	0.075
					0.104	0.185	0.071	0.184	0.004	0.004	0.094	0.113	0.135	0.103
HD141144	K0III	4750	2.10		3.809	5.584	1.248	5.573	0.066	0.188	3.072	3.241	2.761	1.908
					0.116	0.196	0.086	0.192	0.004	0.006	0.100	0.114	0.131	0.101
HD141144	K0III	4750	2.10		3.463	5.660	1.304	5.927	0.066	0.191	3.224	3.301	2.850	1.906
					0.088	0.149	0.062	0.139	0.004	0.005	0.071	0.083	0.093	0.073
HD141144	K0III	4750	2.10		3.530	5.212	1.262	5.697	0.074	0.202	3.282	3.324	2.751	1.998
					0.065	0.117	0.047	0.105	0.004	0.005	0.051	0.060	0.067	0.054
HD141144	K0III	4750	2.10		3.397	5.429	1.109	5.771	0.066	0.189	3.156	3.252	2.778	1.835
					0.080	0.139	0.056	0.127	0.004	0.005	0.064	0.074	0.084	0.067
HD145675	K0V	5264	4.66	0.34	3.767	9.187	2.046	6.225	0.081	0.281	5.425	3.553	3.065	2.030
					0.074	0.131	0.057	0.133	0.003	0.004	0.067	0.088	0.094	0.074
HD145675	K0V	5264	4.66	0.34	3.898	8.781	2.225	5.749	0.085	0.288	5.485	3.659	3.185	1.966
					0.103	0.179	0.080	0.191	0.004	0.005	0.096	0.122	0.134	0.106
HD145675	K0V	5264	4.66	0.34	3.749	9.556	2.037	5.584	0.076	0.279	5.465	3.511	3.228	2.098
					0.135	0.221	0.100	0.236	0.004	0.005	0.118	0.146	0.164	0.128
HD145675	K0V	5264	4.66	0.34	3.679	9.191	2.098	5.929	0.074	0.275	5.495	3.734	3.175	1.967
					0.047	0.093	0.036	0.082	0.003	0.004	0.039	0.058	0.058	0.043
HD147379	K7	3720	4.67	-1.40	6.170	1.816	-0.802	5.177	0.341	0.458	4.192	4.370	4.220	2.991
					0.100	0.181	0.085	0.188	0.004	0.006	0.095	0.094	0.115	0.081
HD147379	K7	3720	4.67	-1.40	5.918	1.404	-0.560	5.263	0.339	0.460	4.330	4.427	4.089	2.957
					0.119	0.218	0.102	0.232	0.005	0.006	0.119	0.120	0.142	0.103
HD147379	K7	3720	4.67	-1.40	5.947	1.501	-0.730	5.129	0.336	0.457	4.388	4.274	4.348	3.013
					0.078	0.132	0.056	0.128	0.004	0.005	0.061	0.060	0.077	0.053
HD152792	G0V	5612	4.12	-0.25	2.496	1.993	2.366	3.145	0.004	0.081	1.990	1.443	1.249	0.673
					0.047	0.104	0.037	0.090	0.003	0.004	0.050	0.056	0.064	0.049
HD152792	G0V	5612	4.12	-0.25	2.340	1.876	2.351	3.041	-0.002	0.082	1.996	1.413	1.309	0.653
					0.054	0.114	0.041	0.103	0.003	0.004	0.057	0.067	0.077	0.060

Tabla 3.7: (continuación) Campaña 6.

	T.esp.	T_{ef}	$\log g$	[Fe/H]	Fe4531 σ	Fe4668 σ	H β σ	Fe5015 σ	Mg ₁ σ	Mg ₂ σ	Mgb σ	Fe5270 σ	Fe5335 σ	Fe5406 σ
HD152792	G0V	5612	4.12	-0.25	2.164 0.069	2.155 0.134	2.427 0.051	2.104 0.129	-0.005 0.003	0.076 0.004	1.929 0.069	1.570 0.080	1.277 0.092	0.633 0.072
HD152792	G0V	5612	4.12	-0.25	2.190 0.168	1.452 0.299	2.127 0.130	3.599 0.319	0.004 0.005	0.083 0.006	2.061 0.172	1.440 0.207	1.341 0.246	0.545 0.193
HD157089	F9V	5785	4.12	-0.56	2.141 0.063	1.304 0.127	2.605 0.046	2.839 0.121	0.003 0.003	0.072 0.004	2.059 0.063	1.315 0.076	1.067 0.090	0.511 0.069
HD157089	F9V	5785	4.12	-0.56	1.938 0.051	1.442 0.111	2.572 0.039	2.909 0.103	0.013 0.003	0.078 0.004	2.318 0.056	1.462 0.067	1.262 0.081	0.550 0.062
HD161817	sdA2	7639	2.96	-0.95	0.589 0.069	0.134 0.136	6.692 0.047	0.131 0.139	-0.011 0.003	0.015 0.004	0.726 0.072	0.164 0.090	0.099 0.108	0.045 0.083
HD166620	K2V	4944	4.47	-0.23	3.682 0.059	3.936 0.118	1.132 0.049	4.472 0.112	0.111 0.003	0.335 0.004	6.288 0.054	3.246 0.072	2.858 0.078	1.864 0.060
HD167042	K1III	4927	3.46	-0.19	3.523 0.094	5.752 0.164	1.725 0.071	5.217 0.168	0.048 0.004	0.183 0.004	3.550 0.089	3.128 0.104	2.556 0.121	1.754 0.094
HD175743	K1III	4635	2.45	-0.12	3.969 0.099	7.917 0.163	1.458 0.072	6.422 0.165	0.080 0.004	0.203 0.004	3.196 0.088	3.550 0.101	3.058 0.116	2.057 0.092
HD175743	K1III	4635	2.45	-0.12	3.415 0.141	7.760 0.217	1.595 0.091	5.764 0.200	0.050 0.004	0.181 0.006	3.202 0.104	3.470 0.118	2.999 0.135	2.086 0.107
HD175743	K1III	4635	2.45	-0.12	3.563 0.130	7.512 0.212	1.448 0.095	6.591 0.213	0.077 0.004	0.205 0.005	3.184 0.115	3.693 0.129	2.990 0.150	1.855 0.118
HD188056	K3III	4244	2.01	0.17	4.732 0.094	11.742 0.134	1.262 0.059	7.908 0.133	0.191 0.004	0.355 0.005	4.598 0.084	4.393 0.083	4.236 0.089	2.876 0.074
HD188056	K3III	4244	2.01	0.17	4.493 0.073	11.456 0.090	1.186 0.031	8.129 0.071	0.197 0.004	0.363 0.005	4.739 0.061	4.329 0.048	4.245 0.045	2.884 0.044
HD188056	K3III	4244	2.01	0.17	4.490 0.214	11.207 0.330	1.658 0.163	7.803 0.377	0.188 0.006	0.366 0.007	4.732 0.217	4.199 0.236	4.043 0.268	2.845 0.212
HD197076	G5V	5761	4.23	0.01	2.568 0.038	2.457 0.092	2.698 0.030	3.481 0.075	0.001 0.003	0.103 0.004	2.651 0.045	1.814 0.050	1.521 0.053	0.850 0.041
HD197076	G5V	5761	4.23	0.01	2.296 0.065	2.276 0.131	2.783 0.051	3.601 0.129	0.014 0.003	0.117 0.004	2.658 0.072	1.921 0.085	1.556 0.097	0.856 0.076
HD197076	G5V	5761	4.23	0.01	2.401 0.043	2.186 0.099	2.725 0.033	3.628 0.086	0.007 0.003	0.107 0.004	2.697 0.050	1.908 0.057	1.573 0.062	0.860 0.049
HD203344	K1III	4658	2.33	-0.17	3.097 0.461	5.781 0.767	0.942 0.363	6.119 0.838	0.093 0.010	0.223 0.014	3.925 0.458	2.866 0.541	2.784 0.623	1.718 0.493
HD203344	K1III	4658	2.33	-0.17	3.695 0.268	6.347 0.443	1.129 0.205	5.295 0.473	0.079 0.006	0.198 0.008	3.476 0.252	3.091 0.292	2.608 0.341	1.675 0.266
HD232078	K3IIp	3996	0.30	-1.73	4.264 0.175	3.665 0.290	0.838 0.121	5.195 0.270	0.085 0.006	0.206 0.007	2.547 0.134	2.042 0.159	2.018 0.165	1.341 0.128
HD232078	K3IIp	3996	0.30	-1.73	3.950 0.112	3.160 0.195	0.933 0.077	5.003 0.176	0.084 0.005	0.203 0.006	2.440 0.085	2.321 0.108	2.167 0.101	1.298 0.083

librería de Lick. Los valores de resolución espectral para cada índice se han tomado de Gorgas et al. (2004) y se dan en la tabla 3.6 (σ_{ins} ; en km/s).

Una vez transformados los índices de las estrellas a la resolución de Lick, se procedió a buscar posibles desviaciones sistemáticas con dicho sistema (debidas a la diferente calibración en flujo o a otros efectos). Por un lado, se calculó la desviación sistemática (offset) para cada índice y cada campaña como:

$$\text{offset} = \frac{\sum_i^N (I_i^{\text{Lick}} - I_i^{\text{obs}}) \sigma_i^{-2}}{\sum_i^N \sigma_i^{-2}} \quad (3.24)$$

Además se calculó la dispersión entre las dos muestras como:

$$\sigma_{\text{Lick-obs}}^2 = \frac{N \sum_i^N (I_i^{\text{Lick}} - I_i^{\text{obs}} - \text{offset})^2 \sigma_i^{-2}}{(N-1) \sum_i^N \sigma_i^{-2}} \quad (3.25)$$

donde el subíndice i hace referencia a cada estrella. Si la estrella está repetida en la campaña en cuestión I_i^{obs} es la media de los valores medidos de ese índice y σ_i ($\equiv \sigma_{\text{int}}^{\text{obs}}$) su correspondiente error. N es el número total de estrellas diferentes observadas en cada campaña.

Los valores obtenidos de la desviación sistemática y dispersión se muestran, para cada campaña e índice, en las columnas 5 (offset) y 7 (σ) de la tabla 3.6. La columna 6 ($\sigma_{\text{int}}^{\text{Lick}}$) presenta los errores típicos de las medidas originales de Lick (Worthey et al. 1994). σ_{esp} muestra la dispersión esperada como suma cuadrática de los errores internos de Lick y nuestra campaña. Aunque estos errores esperados son frecuentemente menores que los observados, no se considera que haya errores residuales realmente, dado que los errores citados por Worthey (1994) están subestimados.

En la última columna de la tabla 3.6 se da el valor del estadístico t en la comparación de las dos muestras, calculado como:

$$t = \frac{\text{offset}}{\frac{\sigma}{\sqrt{N}}}. \quad (3.26)$$

Se consideró que el offset era significativamente diferente de 0, y por lo tanto había que aplicarle a los índices medidos en galaxias y estrellas cuando t era mayor que 2.

Para transformar los índices medidos en las galaxias al sistema de Lick es necesario realizar las mismas correcciones, en particular hay que transformar los índices a la resolución de Lick. Sin embargo, la combinación del ensanchamiento debido a la dispersión de velocidades con el ensanchamiento instrumental puede ser mayor que

Tabla 3.8: Coeficientes de los polinomios, obtenidos en la primera campaña, utilizados para corregir los índices de las galaxias con dispersión de velocidades superior a la resolución espectral del sistema de Lick.

	H β	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	NaD
a_0	1.04995	0.93498	0.98980	0.93504	0.79284	0.86209	1.03562
a_1	-0.10125	0.04399	0.00412	-0.02559	0.18442	-0.14733	-0.14216
a_2	0.05342	0.02026	0.00650	0.08786	0.02266	0.28588	0.10736

la resolución del sistema de Lick, por lo que no se pueden ensanchar los espectros galácticos y se hace necesario conocer de manera empírica como varían los índices con la resolución espectral. Para ello y sólo en el caso de la primera campaña, donde se disponía de una muestra de estrellas significativa, se realizó el siguiente análisis. Se ensancharon los espectros estelares observados hasta 200 km/s y se midieron en ellos los índices. Después se convolucionó cada espectro con una gaussiana con la σ necesaria para que el espectro resultante tuviera un ensanchamiento total de $\sigma_n = 210, 220, \dots, 400$ km/s y se midieron de nuevo los índices en todos ellos. De esta forma, para cada índice se obtuvo una tabla con los cocientes entre el índice medido con ensanchamiento total de 200 km/s y el medido con cada nuevo ensanchamiento ($I(\sigma_{200})/I(\sigma_n)$) (realmente, cada cociente era el promedio de los obtenidos con las 46 estrellas para ese índice y ese ensanchamiento). Y finalmente se ajustaron estos cocientes a un polinomio de grado dos de la forma:

$$I(\sigma_{200}) = I(\sigma_n) \left(a_0 + a_1 \left(\frac{\sigma_n}{\sigma_{200}} \right) + a_2 \left(\frac{\sigma_n}{\sigma_{200}} \right)^2 \right) \quad (3.27)$$

para caracterizar la variación de los índices como función del ensanchamiento espectral y poder transformar los medidos en las galaxias con $\sigma > 200$ km/s al sistema común de comparación. Los coeficientes obtenidos se muestran en la tabla 3.8

No en todas las campañas se observaron estrellas suficientes para llevar a cabo este análisis, por lo que, para los índices no medidos en la primera campaña, se decidió utilizar los coeficientes polinómicos obtenidos por Jablonka, Gorgas y Goudfrooij (2002) usando un procedimiento similar. Estos coeficientes se presentan en la tabla 3.9.

Tabla 3.9: Coeficientes de los polinomios, obtenidos por Jablonka, Gorgas y Goudfrooij (2002), utilizados para corregir los índices de las galaxias con dispersión de velocidades superior a la resolución espectral del sistema de Lick .

	H δ_{rmA}	H δ_{rmF}	CN ₁	CN ₂	Ca4227	G4300	H γ_A	H γ_F
a_0	0.76129	1.25993	0.70442	0.76492	0.78022	0.89152	1.11845	0.80429
a_1	0.10120	-0.51501	0.31941	-0.00441	-0.28090	0.10002	-0.21248	0.25651
a_2	0.13751	0.25508	-0.02382	0.23949	0.50067	0.00847	0.09403	-0.06080

	Fe4383	Ca4455	Fe4531	Fe4668	Fe5015	Fe5406	Fe5709	Fe5782
a_0	0.87985	0.63849	0.91332	1.00545	0.78157	0.89017	0.89437	0.86475
a_1	-0.00952	0.09619	-0.01235	-0.12685	0.17915	-0.14121	0.01365	-0.14458
a_2	0.12967	0.26532	0.09903	0.12140	0.03928	0.25104	0.09198	0.27983

3.3. Valores centrales de los índices

Una vez caracterizadas cada una de las campañas de observación gracias a las estrellas observadas y al análisis del apartado anterior, se procede a medir los índices en las galaxias. En este apartado se presentan las medidas de los índices de intensidad de líneas en las regiones centrales de las galaxias de la muestra. Como criterio inicial y con el fin de facilitar la comparación de estas medidas con las de otros autores (Davies et al. 1987; González 1993), se consideraron regiones correspondientes a 4×2 segundos de arco (este último valor viene limitado por la anchura de la rendija). Puesto que gran parte de las galaxias observadas pertenecen al cúmulo de Virgo, esta escala se traduce en una escala física muy similar para la mayoría de la muestra. Para conseguir espectros correspondientes a esa región se extrajeron y sumaron los 3, 6, 5 y 4 espectros centrales en las cuatro primeras campañas respectivamente. En las dos últimas, el propio tamaño de las fibras limitó el espectro central a un área circular de $2.7''$ de diámetro. En el apéndice A se muestran dichos espectros centrales.

Para todos los espectros centrales se midió la velocidad radial y la dispersión de velocidades siguiendo el procedimiento descrito en la sección 3.1.1. Asimismo se midieron todos los índices posibles del sistema de Lick, corrigiendo cada medida directa con los *offsets* obtenidos en el análisis de las estrellas, cuando estos eran significativos. Los correspondientes errores provienen de las incertidumbres en ruido fotónico, la calibración en flujo y la velocidad radial, más los posibles errores residuales (calculados como se describe en 3.2.2). Los valores finales de los índices, junto con sus errores correspondientes, se dan en las tablas 3.10.

Aprovechando que, en la mayoría de las ocasiones, y para cada galaxia existen observaciones repetidas en una misma campaña, se realizó un análisis similar al que se hizo con las estrellas. Para ello se midieron los índices en los espectros centrales de cada observación junto con sus errores de origen conocido y se compararon estos con la dispersión de los valores de los índices en los distintos espectros de cada gala-

Tabla 3.10: Índices medidos en el espectro correspondiente al centro de las galaxias. Para cada campaña se dan en la primera tabla los valores obtenidos en el espectro original y, en la segunda los medidos en el espectro a una resolución de 200 km/s.

Índices centrales Campaña 1 – (espectros originales)											
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	NaD
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
NGC4415	1.852	5.167	0.077	0.185	3.042	2.891	2.416	1.511	1.200	0.702	1.687
	0.195	0.408	0.014	0.012	0.186	0.192	0.205	0.155	0.113	0.103	0.137
NGC4431	1.900	5.195	0.077	0.187	2.832	2.383	2.504	1.888	1.246	0.743	2.086
	0.194	0.409	0.014	0.012	0.188	0.197	0.207	0.154	0.116	0.107	0.141
NGC4489	2.375	6.620	0.091	0.218	3.499	3.245	3.156	1.885	1.324	0.925	2.738
	0.094	0.220	0.013	0.011	0.103	0.096	0.094	0.074	0.055	0.049	0.069
NGC5846A	1.476	5.371	0.161	0.297	4.627	2.745	2.587	1.753	0.786	0.851	4.727
	0.077	0.199	0.011	0.012	0.091	0.085	0.080	0.063	0.047	0.041	0.062
NGC5846	1.086	4.985	0.172	0.328	4.891	2.817	2.504	1.695	0.987	0.834	5.291
	0.077	0.188	0.009	0.008	0.084	0.081	0.079	0.061	0.045	0.040	0.053
IC767	2.840	4.757	0.050	0.134	2.096	2.454	2.316	1.461	1.075	0.656	1.641
	0.111	0.260	0.012	0.011	0.121	0.120	0.125	0.095	0.071	0.064	0.089
IC794	2.047	5.422	0.085	0.216	3.244	2.967	3.187	1.933	1.295	0.824	2.798
	0.211	0.441	0.012	0.012	0.202	0.208	0.220	0.167	0.124	0.113	0.147
IC3393	2.148	4.983	0.062	0.142	1.825	2.788	2.248	1.539	0.849	0.401	2.076
	0.227	0.471	0.015	0.012	0.222	0.225	0.245	0.183	0.141	0.130	0.165
UGC7436	2.094	4.787	0.054	0.160	2.812	2.274	2.358	1.245	0.899	0.521	0.574
	0.237	0.496	0.014	0.013	0.226	0.240	0.256	0.192	0.145	0.133	0.182

Índices centrales Campaña 1 – (espectros ensanchados a 200 km/s)											
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	NaD
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
NGC4415	1.889	4.538	0.076	0.183	2.905	2.599	2.005	1.368	1.114	0.620	1.577
	0.195	0.412	0.014	0.012	0.186	0.193	0.207	0.156	0.114	0.104	0.137
NGC4431	1.814	4.387	0.075	0.184	2.713	2.150	2.049	1.705	1.105	0.656	1.997
	0.195	0.415	0.014	0.012	0.189	0.198	0.210	0.155	0.116	0.107	0.141
NGC4489	2.306	5.813	0.089	0.215	3.407	2.902	2.593	1.633	1.199	0.780	2.599
	0.094	0.222	0.013	0.011	0.103	0.097	0.097	0.075	0.055	0.049	0.070
NGC5846A	1.471	5.428	0.161	0.297	4.656	2.772	2.631	1.781	0.792	0.866	4.746
	0.077	0.201	0.011	0.012	0.091	0.086	0.081	0.064	0.048	0.042	0.062
NGC5846	1.088	5.366	0.174	0.329	5.146	3.020	2.836	1.910	1.045	0.949	5.450
	0.078	0.203	0.009	0.008	0.086	0.086	0.090	0.068	0.048	0.045	0.055
IC767	2.763	4.184	0.049	0.132	1.989	2.146	1.917	1.303	0.965	0.559	1.492
	0.111	0.262	0.012	0.011	0.122	0.121	0.125	0.095	0.071	0.064	0.090
IC794	2.001	4.982	0.083	0.212	3.157	2.630	2.697	1.661	1.170	0.698	2.593
	0.211	0.444	0.012	0.012	0.203	0.210	0.223	0.168	0.125	0.114	0.148
IC3393	2.099	4.722	0.061	0.142	1.815	2.441	1.740	1.310	0.729	0.383	1.771
	0.226	0.473	0.015	0.012	0.221	0.227	0.249	0.184	0.141	0.130	0.166
UGC7436	2.019	4.212	0.054	0.158	2.642	2.027	1.945	1.025	0.825	0.491	0.587
	0.238	0.501	0.014	0.013	0.226	0.241	0.259	0.194	0.145	0.134	0.181

Tabla 3.10: (continuación)

Índices centrales Campaña 2 – (espectros originales)									
	H δ_A	H δ_F	CN1	CN2	Ca4227	G4300	H γ_A	H γ_F	D4000
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
NGC4415	−1.312	0.736	−0.023	−0.007	1.371	4.364	−4.921	−1.122	2.117
	1.633	1.083	0.042	0.051	0.692	1.230	1.293	0.788	0.650
NGC4431	0.200	2.259	−0.059	0.014	0.489	5.932	−2.518	0.137	2.053
	1.290	0.855	0.034	0.041	0.594	0.910	1.016	0.623	0.648
NGC4489	−0.931	0.731	0.026	0.056	1.730	5.670	−4.554	−0.298	2.371
	0.487	0.330	0.013	0.016	0.208	0.358	0.410	0.242	0.646
IC767	2.143	2.236	−0.055	−0.020	0.926	3.999	0.000	1.254	2.016
	0.468	0.327	0.013	0.016	0.226	0.386	0.000	0.245	0.645
IC794	−4.574	−1.895	0.149	0.169	3.539	6.609	0.000	−0.544	2.181
	2.633	1.764	0.066	0.078	0.943	1.665	0.000	1.196	0.660
NGC5846A	−1.928	0.899	0.078	0.106	1.514	5.035	0.000	−1.938	2.355
	1.645	1.083	0.042	0.050	0.660	1.096	0.000	0.716	0.653
NGC5846	−2.682	−0.934	0.085	0.128	1.010	5.007	0.000	−1.682	2.678
	0.936	0.648	0.024	0.029	0.391	0.630	0.000	0.425	0.649

Índices centrales Campaña 2 – (espectros ensanchados a 200 km/s)									
	H δ_A	H δ_F	CN1	CN2	Ca4227	G4300	H γ_A	H γ_F	D4000
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
NGC4415	−1.036	0.584	−0.034	−0.012	1.067	4.173	−4.861	−0.914	2.117
	1.609	1.082	0.042	0.051	0.715	1.228	1.292	0.784	0.650
NGC4431	0.827	1.887	−0.066	−0.027	0.225	5.407	−2.705	0.000	2.053
	1.271	0.861	0.034	0.041	0.598	0.922	1.017	0.624	0.648
NGC4489	−0.500	0.576	0.006	0.028	1.333	5.186	−4.605	−0.244	2.371
	0.481	0.331	0.013	0.016	0.213	0.362	0.409	0.242	0.646
IC767	2.282	2.045	−0.069	−0.045	0.753	3.426	0.000	1.174	2.016
	0.465	0.327	0.013	0.016	0.228	0.392	0.000	0.246	0.645
IC794	−4.357	−1.422	0.135	0.158	2.475	5.692	0.000	−0.456	2.181
	2.617	1.749	0.066	0.078	1.033	1.698	0.000	1.193	0.660
NGC5846A	−1.758	0.556	0.066	0.099	1.362	5.224	0.000	−1.807	2.355
	1.626	1.088	0.042	0.050	0.661	1.085	0.000	0.713	0.653
NGC5846	−2.468	−0.976	0.083	0.121	0.964	4.949	0.000	−1.689	2.678
	0.932	0.648	0.024	0.029	0.392	0.631	0.000	0.427	0.649

Tabla 3.10: (continuación)

Índices centrales Campaña 3 – (espectros originales)								
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
NGC3605	2.158	5.660	0.081	0.220	3.816	3.488	3.310	2.093
	0.127	0.488	0.015	0.012	0.100	0.109	0.122	0.177
NGC4515	1.921	4.759	0.075	0.207	3.701	3.057	2.726	1.753
	0.128	0.489	0.015	0.012	0.100	0.111	0.126	0.179

Índices centrales Campaña 3 – (espectros ensanchados a 200 km/s)								
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
NGC3605	2.082	4.922	0.079	0.216	3.684	3.136	2.769	1.845
	0.127	0.488	0.015	0.012	0.100	0.109	0.123	0.177
NGC4515	1.846	4.065	0.073	0.204	3.587	2.744	2.242	1.524
	0.128	0.489	0.015	0.011	0.100	0.111	0.127	0.180

xia. De forma general, se ha podido comprobar que los resultados son coincidentes con los obtenidos para las estrellas. En las medidas finales se han considerado los errores residuales que se desprenden del análisis de estas últimas, por ser mucho más fiables. Adicionalmente, y para tener una mayor confianza en las medidas finales, se repitió este mismo proceso con espectros extraídos en extremos simétricos de cada galaxia, donde la señal era aproximadamente del 10 % de la del espectro central. Igualmente, se comprobó que, aunque lógicamente los errores son ahora mayores, siguen siendo comparables a la dispersión de los valores de los índices.

Para poder comparar entre si los índices medidos en distintas galaxias y los valores observados con los predichos por los modelos, es necesario corregir los índices del ensanchamiento de las líneas producido, tanto por la propia dispersión de las velocidades de las estrellas como por la configuración instrumental. Con este fin se degradaron todos los espectros convolucionándolos con una gaussiana de la anchura adecuada para conseguir un ensanchamiento equivalente a 200 km/s. Los índices correspondientes a espectros que originalmente ya tenían un ensanchamiento superior a 200 km/s, se corrigieron de acuerdo con la ecuación 3.27 y los coeficientes de la tabla 3.8. En las tablas 3.10 se muestran todos los índices antes y después de esta corrección de ensanchamiento. Nótese que el ensanchamiento produce un suavizado de las características espectrales, dando lugar a índices menores.

Tabla 3.10: (continuación)

Índices centrales Campaña 4 – (espectros originales)									
	H δ_A	H δ_F	CN1	CN2	Ca4227	G4300	H γ_A	H γ_F	D4000
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
IC767	1.161	2.686	-0.006	0.045	0.927	4.088	-1.947	1.589	1.704
	0.631	0.421	0.019	0.022	0.316	0.679	2.677	0.803	0.140
NGC2694	-2.845	0.336	0.096	0.146	1.720	5.489	-4.662	-1.700	2.154
	0.152	0.096	0.014	0.014	0.069	0.772	0.269	0.272	0.180
NGC3641	-2.455	0.105	0.123	0.177	1.245	6.268	-8.244	-2.269	2.366
	0.142	0.099	0.006	0.007	0.062	0.322	2.850	0.679	0.196
NGC4464	-2.483	-0.013	0.111	0.162	1.348	6.139	-7.749	-1.963	2.174
	0.086	0.066	0.006	0.007	0.036	0.283	2.296	0.371	0.181
NGC4467	-2.499	0.493	0.103	0.159	1.294	5.813	-6.952	-2.072	2.141
	0.172	0.118	0.008	0.009	0.081	0.309	2.483	0.510	0.179
NGC4486B	-3.108	-0.144	0.149	0.205	1.466	6.070	-8.266	-2.534	2.386
	0.084	0.062	0.005	0.007	0.032	0.296	2.681	0.586	0.198
NGC5846A	-2.225	0.089	0.105	0.156	1.468	5.968	-6.456	-2.562	2.132
	0.232	0.157	0.007	0.009	0.106	0.340	3.034	0.915	0.177
VCC1148	-2.735	0.166	0.108	0.172	1.206	5.369	-7.249	-2.719	2.116
	0.327	0.217	0.011	0.013	0.156	0.402	2.512	0.580	0.178
VCC1627	-2.167	0.262	0.049	0.095	1.555	6.160	-5.909	-1.513	2.086
	0.179	0.123	0.008	0.010	0.081	0.264	0.944	0.206	0.176

Índices centrales Campaña 4 – (espectros originales)									
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
IC767	2.833	1.108	0.085	0.167	2.297	3.454	1.931	1.648	1.025
	0.335	0.653	0.024	0.025	0.284	0.304	0.337	0.245	0.666
NGC2694	1.643	5.178	0.128	0.260	4.377	3.721	3.269	2.088	
	0.116	0.234	0.021	0.014	0.108	0.182	0.179	0.125	
NGC3641	1.392	4.324	0.157	0.300	4.675	3.272	2.475	1.696	0.617
	0.108	0.196	0.023	0.024	0.098	0.153	0.180	0.119	0.641
NGC4464	1.729	5.092	0.115	0.242	4.252	3.387	2.604	1.747	0.952
	0.102	0.228	0.021	0.023	0.092	0.152	0.174	0.116	0.641
NGC4467	1.568	4.978	0.137	0.271	4.339	3.691	3.057	1.954	0.939
	0.124	0.253	0.022	0.023	0.113	0.166	0.190	0.129	0.643
NGC4486B	1.608	4.902	0.172	0.323	5.000	3.623	2.562	1.773	0.745
	0.100	0.190	0.022	0.024	0.090	0.149	0.174	0.114	0.641
NGC5846A	1.434	4.329	0.180	0.318	4.706	3.569	2.517	1.789	0.684
	0.145	0.240	0.024	0.024	0.132	0.180	0.209	0.143	0.645
VCC1148	2.009	4.607	0.145	0.297	4.528	3.706	2.668	1.773	1.101
	0.169	0.355	0.022	0.023	0.154	0.198	0.225	0.159	0.648
VCC1627	1.977	6.426	0.102	0.223	3.619	3.140	3.064	1.897	1.071
	0.137	0.336	0.016	0.021	0.127	0.181	0.195	0.137	0.644

Tabla 3.10: (continuación)

Índices centrales Campaña 4 – (espectros ensanchados a 200 km/s)									
	H δ_A	H δ_F	CN1	CN2	Ca4227	G4300	H γ_A	H γ_F	D4000
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
IC767	1.395	2.485	-0.024	0.013	0.670	3.344	-1.833	1.708	1.704
	0.625	0.424	0.019	0.022	0.321	0.678	2.675	0.793	0.140
NGC2694	-2.402	0.203	0.084	0.122	1.355	5.100	-4.828	-1.551	2.154
	0.151	0.096	0.014	0.014	0.070	0.784	0.265	0.270	0.180
NGC3641	-2.089	0.098	0.114	0.156	1.062	5.816	-8.265	-2.059	2.366
	0.140	0.098	0.006	0.007	0.063	0.322	2.854	0.676	0.196
NGC4464	-2.102	0.004	0.099	0.138	1.115	5.665	-7.795	-1.776	2.174
	0.085	0.066	0.006	0.007	0.037	0.283	2.299	0.371	0.181
NGC4467	-2.027	0.368	0.084	0.128	1.058	5.217	-6.958	-1.854	2.141
	0.171	0.118	0.008	0.009	0.081	0.311	2.485	0.511	0.179
NGC4486B	-2.768	-0.146	0.140	0.185	1.233	5.733	-8.350	-2.393	2.386
	0.084	0.061	0.005	0.007	0.032	0.297	2.686	0.584	0.198
NGC5846A	-1.957	0.063	0.100	0.140	1.288	5.604	-6.478	-2.424	2.132
	0.231	0.157	0.007	0.009	0.107	0.340	3.040	0.912	0.177
VCC1148	-2.344	0.076	0.088	0.139	0.998	4.861	-7.421	-2.359	2.116
	0.324	0.216	0.011	0.012	0.156	0.409	2.520	0.571	0.178
VCC1627	-1.751	0.225	0.030	0.066	1.303	5.458	-6.048	-1.319	2.086
	0.176	0.123	0.008	0.010	0.082	0.266	0.945	0.203	0.176

Índices centrales Campaña 4 – (espectros ensanchados a 200 km/s)									
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
IC767	2.972	0.818	0.085	0.167	2.190	3.115	1.466	1.548	0.938
	0.333	0.654	0.024	0.025	0.284	0.306	0.342	0.252	0.666
NGC2694	1.639	4.839	0.127	0.259	4.253	3.551	2.987	1.919	
	0.116	0.237	0.021	0.014	0.108	0.183	0.179	0.125	
NGC3641	1.399	4.244	0.157	0.299	4.630	3.217	2.384	1.639	0.605
	0.108	0.196	0.023	0.024	0.098	0.153	0.181	0.119	0.641
NGC4464	1.694	4.801	0.114	0.241	4.150	3.233	2.363	1.587	0.897
	0.102	0.228	0.021	0.023	0.092	0.152	0.174	0.116	0.641
NGC4467	1.541	4.324	0.135	0.268	4.190	3.352	2.580	1.705	0.839
	0.124	0.254	0.022	0.023	0.113	0.166	0.191	0.129	0.643
NGC4486B	1.596	4.934	0.172	0.323	5.017	3.641	2.586	1.788	0.748
	0.100	0.191	0.022	0.024	0.090	0.149	0.174	0.115	0.641
NGC5846A	1.414	4.316	0.180	0.318	4.702	3.562	2.503	1.783	0.677
	0.145	0.240	0.024	0.024	0.132	0.180	0.209	0.143	0.645
VCC1148	1.832	3.968	0.143	0.294	4.317	3.294	2.278	1.584	0.920
	0.170	0.356	0.022	0.023	0.155	0.199	0.227	0.159	0.648
VCC1627	1.890	5.645	0.099	0.220	3.432	2.796	2.551	1.690	0.929
	0.137	0.339	0.016	0.021	0.127	0.182	0.197	0.137	0.644

Tabla 3.10: (continuación)

Índices centrales Campaña 5 – (espectros originales)									
	H δ_A	H δ_F	CN1	CN2	Ca4227	G4300	H γ_A	H γ_B	Fe4383
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
VCC753					0.768	17.374	-28.00	1.701	-2.198
					1.560	4.591	8.780	3.033	7.728
VCC763			0.141	0.180	1.205	4.856	-4.289	-1.127	5.121
			0.001	0.001	0.013	0.021	0.024	0.014	0.030
VCC765			-0.004	0.051	1.156	4.852	1.114	2.302	3.083
			0.030	0.035	0.546	0.981	0.915	0.555	1.131
VCC781			-0.036	-0.004	0.385	1.092	3.998	2.784	1.444
			0.007	0.009	0.128	0.251	0.227	0.146	0.344
VCC823					0.485	4.428	0.169	1.420	3.426
					0.346	0.586	0.626	0.397	0.835
VCC828					1.479	5.285	-4.918	-1.417	6.275
					0.066	0.117	0.135	0.081	0.150
VCC832					-1.623	-8.378	10.688	7.171	-4.245
					5.850	17.466	4.451	10.995	34.872
VCC833	4.783	9.750	0.308	0.423	-0.152	9.061	-3.734	7.284	10.129
	3.539	2.099	0.149	0.243	2.061	3.623	4.201	2.627	3.925
VCC838	5.034	0.441	-0.113	-0.194	-1.704	1.465	-6.026	-5.070	-0.036
	7.239	3.988	0.133	0.268	5.480	6.932	4.946	2.646	16.714
VCC846			0.051	0.071	0.641	1.053	-1.907	2.421	6.477
			0.071	0.087	1.021	1.688	1.539	0.953	2.580
VCC854			-0.027	-0.093	1.180	1.032	1.691	3.075	2.933
			0.045	0.048	1.093	1.562	1.500	1.808	2.358
VCC870			0.029	0.081	1.207	1.958	4.049	4.094	2.644
			0.018	0.023	0.324	0.586	0.552	0.339	0.755
VCC871	-2.423	-0.064	0.054	0.010	0.592	0.197	0.718	3.695	6.031
	2.236	1.486	0.069	0.077	1.893	2.799	1.962	1.353	2.766
VCC881			0.170	0.210	1.264	4.624	-4.497	-1.695	4.726
			0.001	0.001	0.014	0.024	0.027	0.017	0.032
VCC882			0.285	0.363	-0.038	3.227	2.686	3.449	4.344
			0.029	0.033	0.434	0.721	0.771	0.488	0.985
VCC916			0.080	0.100	1.194	6.363	-4.565	-0.767	6.820
			0.014	0.017	0.245	0.417	0.500	0.302	0.534
VCC965			0.062	0.136	1.148	3.746	1.740	2.926	3.850
			0.017	0.019	0.291	0.526	0.535	0.336	0.740
VCC1030					1.493	4.417	-3.042	-0.519	5.156
					0.026	0.048	0.052	0.032	0.063
VCC1035			-0.067	-0.009	0.515	1.708	4.603	3.170	-0.492
			0.011	0.032	0.292	0.839	0.305	0.257	0.538
VCC1036					1.959	5.026	-3.411	0.419	6.919
					0.114	0.202	0.225	0.133	0.247
VCC1059					0.495	6.207	-2.341	0.199	1.921
					0.853	3.918	1.677	1.690	5.050
VCC1073			0.044	0.087	1.718	5.979	-4.028	-0.861	4.315
			0.006	0.007	0.107	0.189	0.222	0.133	0.266
VCC1348			0.076	0.122	1.107	5.892	-2.983	0.481	2.419
			0.008	0.009	0.136	0.232	0.270	0.161	0.344
VCC1353			-0.311	-0.429	1.122	-3.374	7.874	1.701	-11.846
			0.119	0.172	6.815	5.183	4.255	2.421	10.272
VCC1386			0.667	0.932	4.369	4.441	1.120	7.871	9.446
			0.183	0.187	1.148	1.702	1.535	0.826	1.398
VCC1389			0.315	0.445	0.713	3.517	7.559	7.243	2.690
			0.060	0.064	0.735	1.157	1.063	0.669	1.447
VCC1414			0.030	0.077	1.158	3.525	0.190	1.841	4.298
			0.021	0.024	0.357	0.628	0.663	0.437	0.839
VCC1448	2.046	3.449	-0.032	0.001	0.718	4.601	-2.625	0.211	4.851
	1.077	0.787	0.030	0.039	0.512	0.920	0.988	0.604	1.317
VCC1491	-0.105	1.275	0.002	0.043	1.426	4.944	-3.647	-0.186	4.341
	0.293	0.201	0.008	0.009	0.134	0.240	0.274	0.165	0.333
VCC1499	6.539	5.552	-0.128	-0.061	0.263	-0.150	7.343	5.497	-0.269
	0.142	0.168	0.004	0.024	0.142	0.628	0.118	0.101	0.191
VCC1539					0.728	3.700	-2.476	-0.280	4.118
					1.373	1.261	0.651	0.548	5.084

Tabla 3.10: (continuación)
Índices centrales Campaña 5 – (espectros originales)

	Fe4531 σ	Fe4668 σ	H β σ	Fe5015 σ	Mg1 σ	Mg2 σ	Mgb σ	Fe5270 σ	Fe5335 σ	Fe5406 σ
VCC753	12.772	8.864	3.599	0.365	0.409	0.331	3.607	-1.739	-3.704	-5.139
	3.768	7.019	2.815	7.884	0.077	0.088	3.539	4.200	4.997	3.665
VCC763	3.072	5.773	1.228	4.656	0.123	0.264	4.658	2.611	2.622	1.617
	0.024	0.033	0.015	0.032	0.000	0.001	0.016	0.017	0.021	0.016
VCC765	3.638	-0.037	0.337	2.384	0.027	0.077	1.288	2.256	1.703	1.043
	0.818	1.352	0.529	1.043	0.011	0.013	0.516	0.577	0.619	0.467
VCC781	1.765	1.544	2.417	2.129	0.014	0.069	1.229	2.016	1.799	0.879
	0.264	0.404	0.158	0.336	0.004	0.004	0.167	0.188	0.210	0.157
VCC823	3.014	0.780	2.617	4.859	0.018	0.066	2.539	2.927	1.023	1.260
	0.589	0.893	0.331	0.684	0.007	0.009	0.332	0.364	0.441	0.318
VCC828	2.793	5.735	1.207	5.304	0.064	0.182	3.997	2.814	2.867	1.852
	0.119	0.174	0.072	0.148	0.002	0.002	0.071	0.079	0.086	0.064
VCC832	20.503	6.234	-2.247	-6.579	0.035	0.083	0.020	1.593	-2.525	0.425
	25.073	16.838	3.865	3.293	0.023	0.031	1.636	1.477	3.253	0.886
VCC833	5.013	13.733	3.803	3.033	0.045	0.173	3.849	1.416	0.355	1.258
	2.911	3.848	1.407	3.112	0.031	0.038	1.702	1.738	1.766	1.651
VCC838	7.432	-8.138	0.582	2.338	0.160	0.063	-1.515	-2.066	-1.751	1.577
	10.853	6.805	1.898	9.403	0.034	0.043	3.517	2.070	3.383	1.992
VCC846	0.355	-1.740	1.375	5.143	-0.001	0.057	3.027	1.865	2.775	0.426
	1.593	2.283	1.154	1.882	0.021	0.023	1.008	0.982	1.186	1.065
VCC854	2.224	-5.974	3.126	0.988	0.081	0.054	-1.971	1.963	2.386	1.061
	1.956	2.862	0.989	2.648	0.020	0.022	1.174	1.065	1.156	0.905
VCC870	3.942	0.644	2.523	3.446	-0.006	0.029	1.378	1.889	2.496	1.033
	0.534	0.854	0.331	0.677	0.008	0.009	0.397	0.407	0.459	0.346
VCC871	4.900	-0.942	2.271	7.294	0.117	0.161	0.435	1.778	1.040	0.474
	1.564	2.158	0.865	1.805	0.018	0.025	1.226	1.068	1.310	1.030
VCC881	2.864	6.669	0.919	4.173	0.123	0.271	4.301	2.534	2.148	1.453
	0.025	0.036	0.016	0.033	0.000	0.000	0.016	0.017	0.019	0.014
VCC882	1.770	0.550	1.313	2.535	0.044	0.135	2.326	0.592	1.064	0.572
	0.708	0.981	0.353	0.757	0.008	0.009	0.362	0.393	0.435	0.331
VCC916	5.131	6.347	1.321	6.463	0.081	0.227	4.182	3.375	2.890	2.202
	0.383	0.570	0.236	0.454	0.005	0.006	0.231	0.247	0.268	0.211
VCC965	2.422	1.250	2.221	3.501	0.012	0.058	1.618	1.719	2.101	1.198
	0.546	0.800	0.303	0.614	0.007	0.008	0.308	0.339	0.372	0.291
VCC1030	3.196	6.019	1.378	5.835	0.097	0.224	4.225	2.715	3.003	1.683
	0.048	0.072	0.030	0.061	0.001	0.001	0.029	0.033	0.036	0.028
VCC1035	1.364	-1.377	2.739	2.398	0.005	0.047	0.881	1.565	1.265	0.607
	0.791	0.731	0.209	0.903	0.004	0.009	0.484	0.410	0.432	0.314
VCC1036	3.462	4.825	2.279	5.731	-0.010	0.111	2.813	2.841	2.987	1.856
	0.192	0.277	0.108	0.215	0.002	0.003	0.105	0.116	0.124	0.094
VCC1059	0.195	4.452	4.155	5.966	0.007	0.107	2.270	0.612	1.850	-0.418
	2.512	10.374	1.973	2.908	0.030	0.028	2.071	0.966	2.304	1.191
VCC1073	4.412	6.176	2.522	5.090	0.064	0.192	3.490	3.811	3.019	1.664
	0.192	0.287	0.117	0.245	0.003	0.003	0.123	0.132	0.146	0.114
VCC1348	3.398	2.420	2.638	5.291	0.048	0.139	3.197	2.852	1.990	1.031
	0.251	0.384	0.145	0.312	0.003	0.004	0.154	0.170	0.193	0.150
VCC1353	2.233	3.284	2.217	3.105	-0.042	0.011	1.671	0.935	2.055	1.055
	1.527	2.005	0.910	3.535	0.015	0.014	0.475	0.971	1.835	1.753
VCC1386	1.961	3.721	2.255	1.807	-0.076	0.019	1.875	1.665	0.772	1.409
	1.024	1.212	0.607	0.906	0.009	0.012	0.447	0.528	0.590	0.441
VCC1389	2.485	4.926	0.687	0.579	-0.047	-0.005	1.871	2.541	0.639	0.365
	0.864	1.128	0.419	0.831	0.008	0.009	0.369	0.397	0.476	0.358
VCC1414	2.047	1.026	1.276	1.885	0.009	0.047	0.748	1.340	2.034	0.956
	0.680	0.978	0.368	0.768	0.008	0.009	0.382	0.410	0.452	0.369
VCC1448	3.177	4.936	2.086	1.877	0.100	0.136	2.042	2.523	2.351	1.098
	0.875	1.305	0.549	1.069	0.011	0.014	0.567	0.598	0.772	0.696
VCC1491	2.882	3.946	2.735	4.283	0.028	0.160	3.285	3.399	2.301	1.947
	0.249	0.363	0.142	0.295	0.003	0.004	0.149	0.163	0.184	0.140
VCC1499	1.026	0.534	4.906	1.240	-0.003	0.035	0.931	1.015	1.245	0.851
	0.373	0.435	0.094	0.372	0.002	0.002	0.132	0.127	0.306	0.169
VCC1539	1.705	3.852	3.041	6.443	0.023	0.141	3.318	1.822	2.025	1.261
	2.182	3.280	1.744	4.789	0.014	0.039	3.548	2.561	2.803	2.289

Tabla 3.10: (continuación)

Índices centrales Campaña 5 – (espectros ensanchados a 200 km/s)									
	H δ_A	H δ_F	CN1	CN2	Ca4227	G4300	H γ_A	H γ_F	Fe4383
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
VCC753					0.393			1.615	−2.082
					1.577	4.245	8.448	3.235	7.790
VCC763			0.006	0.052	1.305	5.560	−6.006	−1.532	5.237
			0.135	0.150	0.189	0.627	1.442	1.262	0.984
VCC765			−0.132	−0.082	0.867	4.889	−1.081	1.778	2.778
			0.138	0.154	0.536	1.062	1.699	1.379	1.516
VCC781			−0.175	−0.137	0.509	1.486	2.137	2.383	1.028
			0.135	0.150	0.228	0.674	1.459	1.270	1.044
VCC823					0.494	4.322	−1.511	1.043	3.029
					0.398	0.866	1.571	1.321	1.286
VCC828					1.305	5.507	−6.738	−1.641	5.770
					0.200	0.637	1.448	1.264	0.995
VCC832					−1.250	−9.206	9.133	5.722	−0.232
					3.588	6.286	4.969	10.812	26.529
VCC833	6.660	9.364	0.145	0.185	0.628	8.980	−3.484	7.770	9.216
	3.575	2.130	0.192	0.234	1.797	3.204	4.314	2.769	4.113
VCC838	3.200	−0.081	−0.214	−0.223	−0.122	2.643	−7.925	−5.351	1.198
	5.683	4.257	0.193	0.229	3.314	7.141	5.795	3.083	14.006
VCC846			−0.102	−0.026	0.849	1.648	−2.630	2.079	5.617
			0.152	0.172	1.028	1.799	2.058	1.533	2.516
VCC854			−0.159	−0.210	1.033	2.182	−0.154	3.142	3.135
			0.142	0.158	1.100	1.687	2.088	2.195	2.785
VCC870			−0.106	−0.046	1.101	2.409	2.293	3.506	2.432
			0.136	0.152	0.354	0.863	1.547	1.306	1.242
VCC871	−2.796	−0.261	−0.059	−0.070	0.529	1.669	−1.244	2.978	6.042
	2.246	1.479	0.149	0.166	1.429	2.311	2.345	1.740	2.703
VCC881			0.032	0.073	1.225	5.163	−6.243	−2.032	4.633
			0.135	0.150	0.189	0.627	1.442	1.262	0.984
VCC882			0.142	0.212	0.049	3.058	1.266	2.967	4.009
			0.138	0.153	0.470	0.975	1.625	1.350	1.395
VCC916			−0.061	−0.037	1.074	6.578	−6.488	−1.191	6.137
			0.136	0.151	0.312	0.754	1.526	1.297	1.126
VCC965			−0.077	−0.011	1.094	4.041	−0.119	2.392	3.733
			0.136	0.152	0.346	0.814	1.537	1.305	1.217
VCC1030					1.332	4.930	−4.852	−0.866	4.906
					0.191	0.628	1.443	1.262	0.986
VCC1035			−0.202	−0.153	0.553	1.924	2.804	2.671	−0.514
			0.136	0.152	0.324	0.762	1.487	1.279	1.100
VCC1036					1.708	5.205	−5.095	0.011	6.470
					0.222	0.659	1.459	1.269	1.015
VCC1059					0.367	6.392	−3.853	−0.414	1.704
					0.939	3.043	2.533	2.426	5.052
VCC1073			−0.096	−0.057	1.505	6.186	−5.829	−1.168	4.092
			0.135	0.150	0.218	0.655	1.459	1.269	1.019
VCC1348			−0.068	−0.024	1.042	6.033	−4.586	−0.004	2.492
			0.135	0.150	0.234	0.669	1.467	1.272	1.042
VCC1353			−0.431	−0.528	1.501	−1.560	5.120	0.973	−8.115
			0.193	0.210	4.849	3.871	3.610	2.395	5.026
VCC1386			0.439	0.650	3.395	3.723	−0.119	7.288	9.276
			0.213	0.225	1.113	1.879	2.112	1.549	1.747
VCC1389			0.142	0.248	0.966	3.432	5.720	6.345	2.930
			0.148	0.163	0.749	1.338	1.787	1.431	1.732
VCC1414			−0.098	−0.058	0.964	3.672	−1.499	1.197	4.267
			0.137	0.152	0.414	0.896	1.589	1.327	1.298
VCC1448	2.185	3.324	−0.174	−0.157	0.679	5.211	−4.461	−0.339	4.651
	1.102	0.699	0.138	0.154	0.519	1.096	1.750	1.400	1.610
VCC1491	0.173	1.126	−0.141	−0.101	1.299	5.170	−5.393	−0.588	4.253
	0.291	0.201	0.135	0.150	0.234	0.672	1.468	1.272	1.039
VCC1499	6.411	5.145	−0.263	−0.201	0.365	0.205	5.494	4.942	−0.362
	0.194	0.164	0.135	0.152	0.221	0.816	1.447	1.264	1.009
VCC1539					0.859	4.365	−4.394	−0.846	3.688
					1.116	1.514	1.687	1.402	3.943

Tabla 3.10: (continuación)

Índices centrales Campaña 5 – (espectros ensanchados a 200 km/s)

	Fe4531	Fe4668	H β	Fe5015	Mg1	Mg2	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
VCC753	13.394	0.621	3.890	0.644	0.436	0.370	3.863	-1.468	-3.708	-4.943
	3.798	7.027	2.817	7.929	0.079	0.091	3.554	4.204	5.010	3.669
VCC763	3.694	6.530	1.519	4.935	0.150	0.303	4.914	2.882	2.618	1.813
	0.475	0.344	0.109	0.848	0.017	0.022	0.331	0.190	0.362	0.181
VCC765	4.401	0.617	0.727	2.348	0.053	0.115	1.568	2.357	1.587	1.201
	0.944	1.337	0.558	1.348	0.021	0.025	0.613	0.612	0.731	0.495
VCC781	2.084	2.253	2.573	2.086	0.040	0.107	1.455	2.052	1.557	0.976
	0.543	0.525	0.192	0.912	0.018	0.022	0.371	0.266	0.419	0.240
VCC823	3.397	1.675	2.839	5.093	0.044	0.105	2.658	3.002	1.029	1.394
	0.754	0.953	0.344	1.091	0.019	0.023	0.469	0.411	0.563	0.366
VCC828	3.194	6.267	1.492	5.175	0.090	0.220	4.123	2.893	2.577	1.865
	0.489	0.384	0.130	0.860	0.017	0.022	0.338	0.205	0.372	0.191
VCC832			-1.619	-6.323	0.059	0.125	0.290	1.789	-2.065	0.358
			3.139	2.964	0.027	0.039	1.640	1.699	2.626	1.010
VCC833			3.915	3.221	0.071	0.211	4.162	1.596	0.339	1.414
			1.405	3.244	0.036	0.044	1.699	1.738	1.798	1.608
VCC838			0.942	1.219	0.191	0.099	-1.017	-1.714	-0.965	1.588
			1.546	6.216	0.035	0.050	2.940	1.855	2.406	1.466
VCC846	1.739	-0.893	1.132	4.882	0.024	0.096	2.867	2.045	2.368	0.687
	1.475	2.149	0.968	2.058	0.026	0.032	0.950	0.994	1.321	1.069
VCC854	3.104	-4.827	3.272	1.267	0.108	0.093	-1.715	2.234	2.382	1.257
	1.982	2.659	0.910	2.780	0.026	0.031	1.220	1.082	1.211	0.923
VCC870	4.226	1.233	2.715	3.681	0.021	0.067	1.660	2.105	2.394	1.237
	0.717	0.910	0.362	1.086	0.019	0.023	0.511	0.444	0.588	0.381
VCC871	5.496	-0.123	2.562	7.573	0.144	0.200	0.691	2.049	1.036	0.670
	1.621	2.257	0.872	1.994	0.025	0.033	1.270	1.085	1.359	1.046
VCC881	3.356	7.315	1.210	4.452	0.150	0.310	4.557	2.805	2.144	1.649
	0.475	0.344	0.109	0.848	0.017	0.022	0.331	0.190	0.362	0.181
VCC882	1.947	1.503	1.426	2.887	0.070	0.173	2.470	0.835	1.023	0.725
	0.861	1.029	0.371	1.124	0.019	0.023	0.488	0.439	0.565	0.374
VCC916	4.747	6.656	1.618	6.110	0.105	0.262	4.349	3.465	2.642	2.141
	0.618	0.670	0.259	0.964	0.018	0.022	0.404	0.313	0.452	0.280
VCC965	2.864	1.991	2.474	3.456	0.037	0.097	1.734	1.920	1.824	1.332
	0.725	0.870	0.321	1.050	0.019	0.023	0.453	0.389	0.522	0.340
VCC1030	3.659	6.646	1.650	6.011	0.124	0.262	4.405	2.938	2.898	1.831
	0.476	0.350	0.112	0.849	0.017	0.022	0.332	0.192	0.363	0.182
VCC1035	1.799	-0.422	3.024	2.366	0.032	0.085	1.123	1.702	1.117	0.723
	0.642	0.617	0.256	1.171	0.018	0.023	0.535	0.374	0.528	0.345
VCC1036	3.715	5.457	2.500	5.554	0.016	0.148	2.998	2.921	2.570	1.866
	0.512	0.440	0.153	0.874	0.017	0.022	0.347	0.222	0.383	0.204
VCC1059	1.252	3.916	4.535	6.291	0.035	0.145	2.353	0.693	1.825	-0.179
	3.095	7.962	2.318	3.112	0.035	0.037	1.688	0.964	2.243	1.351
VCC1073	4.682	6.676	2.654	5.028	0.089	0.228	3.691	3.836	2.667	1.739
	0.512	0.447	0.159	0.882	0.018	0.022	0.353	0.232	0.391	0.213
VCC1348	3.687	2.959	2.833	5.299	0.073	0.177	3.377	2.977	1.749	1.156
	0.537	0.515	0.181	0.903	0.018	0.022	0.365	0.255	0.411	0.234
VCC1353	2.863	4.095	2.593	3.080	-0.017	0.049	1.937	1.124	1.795	1.179
	1.266	1.842	0.792	2.731	0.023	0.025	0.637	0.865	1.451	1.600
VCC1386	2.549	4.254	2.528	1.918	-0.049	0.054	2.124	1.714	0.749	1.397
	2.549	4.254	2.528	1.918	-0.049	0.054	2.124	1.714	0.749	1.397
VCC1389	2.387	5.495	1.181	1.055	-0.023	0.034	2.025	2.546	0.553	0.618
	0.993	1.138	0.424	1.183	0.019	0.023	0.493	0.442	0.596	0.399
VCC1414	2.601	1.633	1.387	2.179	0.034	0.085	0.964	1.350	1.683	1.062
	0.821	1.036	0.382	1.143	0.019	0.023	0.502	0.450	0.580	0.400
VCC1448	3.388	5.384	2.384	1.936	0.128	0.177	2.325	2.588	2.173	1.025
	1.008	1.370	0.522	1.376	0.021	0.026	0.656	0.623	0.819	0.631
VCC1491	3.427	4.595	2.926	4.169	0.054	0.197	3.422	3.464	2.059	2.018
	0.534	0.500	0.178	0.898	0.018	0.022	0.363	0.251	0.407	0.229
VCC1499	0.527	0.477	0.140	0.920	0.017	0.022	0.345	0.233	0.414	0.222
	0.527	0.477	0.140	0.920	0.017	0.022	0.345	0.233	0.414	0.222
VCC1539	2.274	4.877	3.419	6.400	0.050	0.181	3.480	1.977	1.932	1.479
	2.155	3.172	2.003	4.499	0.022	0.045	3.309	2.429	2.638	2.269

Tabla 3.10: (continuación)

Índices centrales Campaña 6 – (espectros originales)										
	H δ_A	H δ_F	CN1	CN2	Ca4227	G4300	H γ_A	H γ_F	Fe4383	Ca4455
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
VCC763		−3.678	0.106	0.147	1.129	5.514	−6.136	−1.683	4.953	1.727
		0.138	0.061	0.040	0.047	0.110	0.250	0.087	0.163	0.053
VCC779		1.756	−0.064	0.218	2.115	9.591	−9.972	3.885	20.620	−0.174
		0.932	0.072	0.057	0.656	1.361	2.004	0.901	1.391	1.084
VCC781		3.367	−0.027	0.050	0.405	2.608	2.578	2.661	−1.367	1.306
		0.158	0.061	0.041	0.125	0.254	0.343	0.169	0.459	0.198
VCC810		3.269	0.265	0.475	3.304	−0.332	−0.521	2.145	8.074	8.517
		0.718	0.073	0.059	0.610	1.364	1.282	0.802	1.754	0.708
VCC815			−0.063	0.006	−0.851	2.836	0.606	0.993	2.773	0.697
			0.063	0.044	0.300	0.593	0.684	0.409	1.063	0.587
VCC828		0.294	0.060	0.104	1.630	6.158	−5.972	−1.683	6.013	2.213
		0.075	0.061	0.040	0.051	0.130	0.258	0.094	0.175	0.067
VCC833	−1.514	−0.171	−0.096	−0.086	−0.154	3.634	−2.303	−2.472	1.401	1.551
	0.990	0.501	0.064	0.046	0.338	0.664	0.784	0.531	1.049	0.537
VCC838			0.048	0.453	2.043	6.981	−0.952	1.000	6.061	−2.090
			0.094	0.083	0.872	1.485	1.856	1.132	2.520	1.308
VCC844		0.127	−0.023	0.039	5.763	4.473	−7.135	−2.858	5.107	2.486
		0.201	0.061	0.041	0.129	0.247	0.362	0.183	0.352	0.201
VCC846	2.272	0.188	−0.004	0.067	1.689	4.834	−4.112	0.431	8.016	−0.398
	0.755	0.323	0.062	0.042	0.227	0.451	0.590	0.327	0.714	0.461
VCC854	6.005	4.538	−0.185	−0.166	0.959	1.199	−0.286	1.568	2.861	1.781
	1.057	0.570	0.066	0.050	0.456	0.819	0.909	0.570	1.239	0.634
VCC871	−0.637	0.689	−0.222	−0.198	0.947	5.177	−2.178	−0.105	−0.113	1.824
	1.244	0.695	0.065	0.049	0.362	0.709	0.876	0.570	1.176	0.591
VCC872	2.190	0.271	−0.059	−0.001	−0.055	3.071	−0.966	−0.013	1.032	1.704
	0.724	0.268	0.062	0.041	0.191	0.348	0.434	0.254	0.527	0.255
VCC881	−9.010	−0.110	0.134	0.181	1.583	5.459	−6.141	−1.626	5.562	1.778
	0.664	0.061	0.061	0.040	0.045	0.110	0.248	0.086	0.162	0.057
VCC882	−0.142	0.725	−0.014	0.008	0.859	3.307	−3.158	−1.111	3.262	1.472
	0.686	0.173	0.061	0.041	0.133	0.283	0.371	0.201	0.407	0.196
VCC903	1.458	4.073	−0.174	−0.225	0.186	−1.289	−0.817	0.457	7.573	2.046
	1.152	0.573	0.066	0.051	0.526	1.037	1.105	0.737	1.447	0.816
VCC916			0.078	0.099	2.067	5.901	−5.782	−1.989	5.817	2.168
			0.061	0.041	0.114	0.212	0.339	0.171	0.308	0.167
VCC996	17.601	8.340	−0.169	−0.082	2.854	−3.806	2.890	5.148	4.654	6.307
	1.288	0.357	0.063	0.045	0.217	0.858	0.467	0.242	0.822	0.319
VCC1030	−1.381	1.227	0.071	0.115	1.526	4.922	−3.221	0.128	5.626	1.811
	0.644	0.073	0.061	0.040	0.049	0.138	0.254	0.090	0.170	0.049
VCC1040	−11.490	0.451	−0.009	0.027	1.831	3.084	−2.372	1.012	6.581	1.532
	2.870	0.249	0.062	0.042	0.201	0.430	0.534	0.290	0.651	0.371

Tabla 3.10: (continuación)

Índices centrales Campaña 6 – (espectros originales)										
	Fe4531	Fe4668	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
VCC763	3.457	6.223	1.390	4.353	0.149	0.304	4.460	2.522	1.995	1.519
	0.106	0.131	0.051	0.179	0.005	0.005	0.048	0.057	0.065	0.051
VCC779	3.360	-8.953	5.423	14.770	0.014	0.071	2.289	0.495	2.203	2.409
	1.549	3.847	1.254	2.470	0.035	0.045	1.701	2.200	2.540	1.787
VCC781	2.711	3.082	2.428	4.385	0.035	0.116	1.268	2.116	1.668	0.911
	0.320	0.516	0.236	0.553	0.007	0.009	0.310	0.353	0.412	0.324
VCC810	4.826	-3.984	3.265	9.994	0.039	0.203	1.275	1.070	4.734	1.144
	1.413	2.825	1.184	2.781	0.032	0.045	1.834	2.076	2.183	1.962
VCC815	-2.675	3.708	4.184	3.583	0.020	0.058	0.047	1.311	0.811	0.222
	1.147	1.759	0.869	2.159	0.025	0.031	1.299	1.486	1.815	1.344
VCC828	4.128	6.071	1.627	5.722	0.118	0.261	4.187	3.137	2.766	2.003
	0.129	0.156	0.062	0.197	0.005	0.005	0.066	0.076	0.086	0.067
VCC833	0.518	3.510	2.166	4.241	0.115	0.162	2.151	1.878	1.033	0.311
	0.906	1.474	0.662	1.640	0.020	0.025	0.948	1.129	1.262	1.013
VCC838	-2.801	4.784	1.748	0.401	0.065	0.111	1.039	3.051	0.400	0.020
	1.906	2.493	1.011	2.516	0.026	0.034	1.362	1.518	1.940	1.463
VCC844	5.649	-0.304	-1.400	5.049	0.392	0.493	4.806	3.976	4.076	2.834
	0.262	0.414	0.202	0.479	0.007	0.009	0.244	0.234	0.260	0.194
VCC846	-0.307	-0.302	2.443	3.088	0.050	0.121	2.088	3.154	2.892	-1.039
	0.762	1.314	0.603	1.492	0.017	0.021	0.815	0.945	1.090	0.957
VCC854	-0.445	0.226	1.661	5.684	0.057	0.067	-0.607	2.157	0.745	0.084
	1.231	1.860	0.862	1.915	0.022	0.027	1.146	1.280	1.581	1.145
VCC871	2.893	0.141	1.643	5.505	0.083	0.117	0.956	0.290	2.386	0.146
	0.863	1.459	0.595	1.338	0.016	0.020	0.768	0.882	0.964	0.793
VCC872	2.041	0.994	1.373	2.775	0.108	0.117	1.104	0.796	1.326	1.103
	0.437	0.714	0.315	0.775	0.010	0.012	0.427	0.489	0.565	0.431
VCC881	3.578	7.226	1.237	5.169	0.152	0.309	4.769	2.889	2.371	1.707
	0.105	0.127	0.048	0.174	0.004	0.004	0.042	0.050	0.057	0.044
VCC882	1.835	3.704	1.513	4.675	0.078	0.160	1.693	1.537	1.211	1.138
	0.335	0.528	0.244	0.582	0.008	0.009	0.323	0.364	0.424	0.323
VCC903	-2.673	0.192	1.418	-0.361	0.134	0.137	2.405	2.625	-1.351	1.275
	1.668	2.333	0.993	2.678	0.029	0.036	1.402	1.632	2.119	1.436
VCC916	3.686	6.747	2.100	6.456	0.105	0.249	3.921	3.765	3.439	2.237
	0.254	0.385	0.175	0.417	0.007	0.008	0.216	0.238	0.275	0.214
VCC996	-6.909	6.397	11.322	13.270	0.112	0.183	3.613	6.756	-3.558	1.426
	1.070	1.864	0.701	1.653	0.025	0.029	1.056	0.957	1.793	1.119
VCC1030	3.722	7.261	1.680	4.890	0.096	0.236	4.050	2.734	2.611	1.669
	0.111	0.140	0.052	0.180	0.005	0.005	0.050	0.058	0.068	0.053
VCC1040	1.354	0.521	1.273	2.968	0.030	0.089	2.413	2.391	1.407	1.478
	0.618	1.053	0.483	1.128	0.013	0.017	0.595	0.703	0.832	0.621

Tabla 3.10: (continuación)

Índices centrales Campaña 6 – (espectros ensanchados a 200 km/s)										
	H δ_A	H δ_F	CN1	CN2	Ca4227	G4300	H γ_A	H γ_F	Fe4383	Ca4455
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
VCC763		−3.701	0.105	0.144	1.129	5.514	−6.127	−1.704	5.226	1.913
		0.134	0.061	0.040	0.047	0.110	0.250	0.087	0.165	0.061
VCC779		1.774	−0.058	0.197	2.160	9.624	−9.956	3.944	21.978	−0.260
		0.912	0.072	0.058	0.670	1.366	2.001	0.915	1.481	1.259
VCC781		2.797	−0.042	0.013	0.264	2.196	2.410	2.509	−0.697	1.074
		0.163	0.061	0.041	0.127	0.256	0.341	0.170	0.444	0.200
VCC810		2.389	0.256	0.436	2.941	0.398	−0.392	2.221	8.249	8.957
		0.736	0.073	0.059	0.628	1.318	1.284	0.783	1.791	0.746
VCC815			−0.409	−0.163	−0.652	2.559	0.326	0.919	2.424	0.484
			0.068	0.048	0.294	0.597	0.684	0.410	1.055	0.587
VCC828		0.192	0.046	0.080	1.255	5.636	−6.102	−1.499	5.333	1.735
		0.068	0.061	0.040	0.051	0.116	0.254	0.092	0.175	0.059
VCC833	−1.737	0.160	−0.113	−0.104	0.136	3.822	−2.896	−1.879	0.095	0.978
	0.986	0.491	0.064	0.046	0.333	0.648	0.791	0.514	1.088	0.555
VCC838			0.049	0.476	2.368	7.142	−0.953	1.031	6.865	−2.877
			0.095	0.086	1.010	1.519	1.858	1.172	2.853	1.729
VCC844		−0.256	−0.043	0.008	4.650	3.928	−7.022	−2.564	4.507	1.772
		0.176	0.061	0.041	0.131	0.250	0.357	0.178	0.353	0.187
VCC846	3.347	−0.230	−0.006	0.052	1.073	3.931	−3.997	0.505	7.222	−0.506
	0.747	0.316	0.062	0.043	0.236	0.462	0.592	0.327	0.715	0.449
VCC854	5.915	4.274	−0.188	−0.164	1.292	1.140	−0.243	1.553	2.644	1.464
	1.046	0.568	0.066	0.050	0.406	0.829	0.903	0.560	1.245	0.648
VCC871	0.813	0.501	−0.223	−0.196	0.577	5.303	−2.551	−0.158	−0.012	1.605
	1.185	0.698	0.065	0.048	0.369	0.705	0.879	0.563	1.178	0.584
VCC872	2.371	0.858	−0.063	−0.032	0.201	2.556	−0.993	0.150	0.434	1.351
	0.723	0.249	0.062	0.042	0.186	0.352	0.433	0.251	0.533	0.260
VCC881	−8.776	−0.184	0.130	0.169	1.404	5.346	−6.170	−1.604	5.530	1.769
	0.664	0.060	0.061	0.040	0.045	0.107	0.248	0.086	0.162	0.056
VCC882	0.104	0.617	−0.021	0.000	0.690	3.055	−3.356	−1.105	3.045	1.173
	0.685	0.173	0.061	0.041	0.136	0.272	0.372	0.200	0.406	0.199
VCC903	0.209	3.823	−0.143	−0.174	0.025	−1.030	−0.740	0.504	5.856	1.134
	1.174	0.572	0.066	0.051	0.525	1.008	1.101	0.726	1.519	0.853
VCC916			0.061	0.081	1.502	5.465	−6.045	−1.787	5.280	1.631
			0.061	0.041	0.110	0.210	0.337	0.166	0.314	0.158
VCC996	19.634	8.061	−0.178	−0.058	2.999	−4.382	2.730	5.094	4.686	6.411
	0.830	0.308	0.063	0.044	0.218	0.580	0.465	0.248	0.828	0.324
VCC1030	−1.078	1.071	0.065	0.098	1.221	4.744	−3.388	0.172	5.273	1.561
	0.644	0.069	0.061	0.040	0.050	0.120	0.254	0.090	0.170	0.049
VCC1040	−17.230	0.205	−0.011	0.019	1.455	3.515	−2.379	0.976	6.057	1.654
	1.500	0.250	0.062	0.042	0.208	0.427	0.528	0.290	0.658	0.367

Tabla 3.10: (continuación)

Índices centrales Campaña 6 – (espectros ensanchados a 200 km/s)										
	Fe4531	Fe4668	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
V763	3.588	6.398	1.397	4.957	0.152	0.306	4.909	2.840	2.536	1.888
	0.108	0.134	0.051	0.187	0.005	0.005	0.053	0.064	0.082	0.064
VCC779	3.512	−9.257	5.452	17.011	0.014	0.071	2.545	0.564	2.862	3.060
	1.625	3.978	1.261	2.843	0.036	0.046	1.892	2.505	3.265	2.270
VCC781	2.368	2.733	2.288	3.745	0.033	0.114	1.307	1.915	1.357	0.828
	0.321	0.519	0.237	0.558	0.007	0.009	0.308	0.354	0.416	0.323
VCC810	4.899	−4.026	3.274	10.955	0.039	0.204	1.359	1.163	5.556	1.326
	1.435	2.855	1.188	3.048	0.033	0.045	1.954	2.256	2.553	2.275
VCC815	−1.588	3.126	4.021	3.413	0.019	0.059	0.089	1.123	0.695	−0.090
	1.098	1.777	0.868	2.169	0.025	0.031	1.296	1.501	1.821	1.365
VCC828	3.712	5.867	1.606	5.187	0.116	0.259	4.050	2.888	2.401	1.761
	0.116	0.156	0.062	0.198	0.005	0.005	0.066	0.077	0.088	0.068
VCC833	0.936	2.967	2.225	3.299	0.114	0.157	1.811	1.630	0.538	0.179
	0.895	1.470	0.661	1.664	0.020	0.025	0.958	1.134	1.283	1.016
VCC838	−3.105	5.133	1.764	0.493	0.067	0.112	1.231	3.697	0.636	0.029
	2.094	2.675	1.020	3.089	0.027	0.035	1.614	1.840	2.836	2.111
VCC844	5.355	−0.606	−1.223	4.445	0.387	0.488	4.589	3.603	3.612	2.421
	0.243	0.417	0.202	0.481	0.007	0.009	0.248	0.235	0.266	0.199
VCC846	−0.373	−0.011	2.158	2.318	0.051	0.121	2.036	2.648	2.455	−0.660
	0.763	1.303	0.607	1.498	0.017	0.021	0.817	0.955	1.103	0.941
VCC854	0.104	0.584	1.873	5.521	0.057	0.065	−0.637	2.140	0.803	0.159
	1.191	1.844	0.853	1.918	0.022	0.027	1.149	1.282	1.570	1.141
VCC871	2.448	0.368	1.474	5.216	0.083	0.114	1.025	0.343	2.108	0.250
	0.875	1.447	0.594	1.345	0.016	0.020	0.766	0.881	0.975	0.788
VCC872	1.528	1.017	1.215	2.431	0.107	0.116	1.069	0.616	0.905	0.952
	0.441	0.710	0.316	0.780	0.010	0.012	0.427	0.490	0.573	0.434
VCC881	3.570	7.217	1.239	5.499	0.153	0.310	4.965	3.054	2.639	1.878
	0.105	0.128	0.048	0.177	0.004	0.004	0.044	0.053	0.063	0.048
VCC882	1.781	3.662	1.442	4.045	0.077	0.159	1.513	1.340	0.916	1.013
	0.335	0.528	0.244	0.588	0.008	0.009	0.322	0.367	0.428	0.324
VCC903	−2.275	−0.257	1.207	0.670	0.131	0.142	2.195	1.950	−0.622	1.022
	1.655	2.359	1.004	2.597	0.029	0.037	1.418	1.658	2.064	1.455
VCC916	3.492	6.471	1.962	5.798	0.104	0.247	3.776	3.452	2.864	1.912
	0.249	0.387	0.176	0.420	0.007	0.008	0.216	0.239	0.276	0.216
VCC996	−6.946	6.418	11.344	14.285	0.113	0.184	3.795	7.219	−4.012	1.601
	1.076	1.870	0.703	1.778	0.025	0.030	1.110	1.023	2.029	1.257
VCC1030	3.448	7.066	1.658	4.751	0.095	0.236	3.990	2.673	2.471	1.600
	0.110	0.140	0.053	0.180	0.005	0.005	0.050	0.058	0.069	0.051
VCC1040	1.214	0.418	1.320	3.033	0.030	0.089	2.444	2.437	1.460	1.525
	0.618	1.055	0.482	1.152	0.013	0.017	0.603	0.717	0.861	0.641

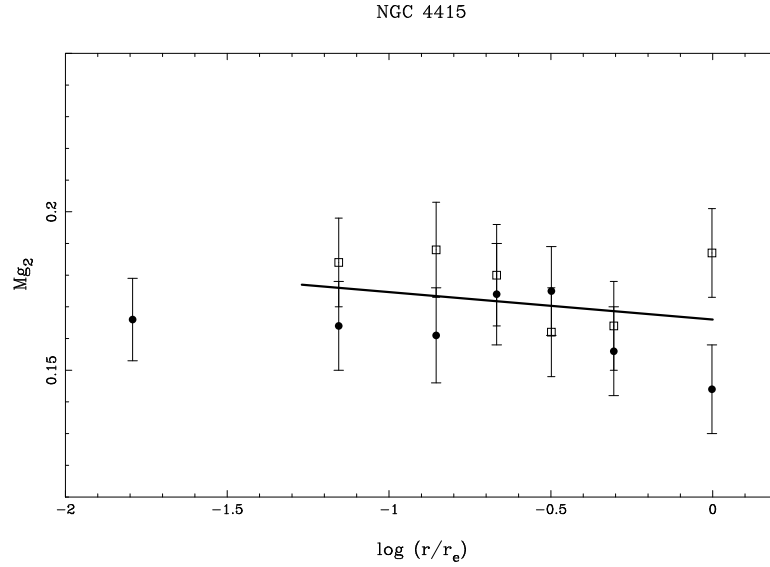


Figura 3.7: Variación del índice Mg_2 medido a lo largo del radio de la galaxia NGC 4415.

3.4. Gradientes de índices

De la muestra de galaxias analizadas en este trabajo, 18 de ellas se pudieron observar con rendija larga y con un tiempo de exposición suficiente como para poder medir los índices hasta una distancia aproximada del radio efectivo. En la mayoría de los casos se procuró alinear la rendija del espectrógrafo con el eje mayor de cada galaxia. Una excepción han sido NGC 5846 y NGC 5846A, para las que se situó la rendija de forma que pasara por el núcleo de ambas.

Tal y como se comentó en la sección 3.1.2, en las regiones externas de las galaxias es necesario sumar varias filas de la imagen para extraer espectros con suficiente señal como para medir adecuadamente los índices. A partir de los coeficientes c_1 , c_2 y c_3 de la tabla 3.5 se puede estimar que para medir índices con un error relativo inferior al 10 % es suficiente tener espectros con $S/N \geq 10$ ó ≥ 15 para los índices moleculares y atómicos, respectivamente. El criterio final adoptado a la hora de extraer los espectros fue tener una relación señal/ruido por \AA mayor de 15 en el rango espectral del índice Mg_2 (4895–5366 \AA). La única excepción a este criterio fue el índice D_{4000} , y para el que, debido a la anchura de sus bandas (200 \AA), es suficiente una $S/N > 1$ para que el error relativo sea inferior al 10 % (ver ecuación 3.16).

Antes de medir los índices en los espectros es necesario corregir de la diferencia en el ensanchamiento de las líneas debido a las variaciones en la dispersión de velocidades a lo largo del radio. Para ello, y para cada galaxia, se ensacharon todos los espectros hasta la máxima dispersión de velocidades a lo largo del radio. Para no introducir aquí los errores en las propias medidas de σ , se ajustaron previamente los perfiles de dispersión de velocidades a un polinomio de orden bajo, tal y como se muestra en la figura 3.4. Los valores predichos por el polinomio ajustado se usaron entonces para convertir todos los espectros de cada galaxia a una misma resolución.

En el apéndice C se dan, para cada galaxia, todos los valores de los índices medidos a lo largo del radio y se representan gráficamente, junto con el gradiente calculado, de forma similar a la figura 3.7. En esta figura, la línea continua representa el gradiente que se obtiene al ajustar los valores medidos a la relación:

$$I = I_0 + G \log(r/r_e) \quad (3.28)$$

donde I_0 es el índice a una distancia de $1''$ y r_e es el radio efectivo de la galaxia. El ajuste se realizó mediante una regresión lineal, pesando con los errores en los índices y desechando de forma iterativa los puntos que se desviaban más de tres veces la desviación típica residual. No se consideraron los índices medidos dentro del arcosegundo central debido a que el efecto del *seeing* provoca que en el centro se midan valores menores que los que serían previsibles en gradientes negativos y mayores para los positivos. Como se aprecia en la figura 3.7 y en la mayoría de las gráficas del apéndice C, la variación de los índices a lo largo del radio de las galaxias no es completamente lineal, pero se considera que para las galaxias elípticas (Faber 1977; Gorgas et al. 1990; González 1993; Davies et al. 1993; Carollo et al. 1993; Fisher et al. 1995; González y Gorgas 1995) una recta es una buena representación de como varían los índices frente al radio, con la ventaja de que al identificar esta variación con un único parámetro, como es la pendiente de la recta, se facilita el análisis de los gradientes y la comparación entre los distintos tipos de galaxias.

En la tabla 3.11 se presentan los valores de los gradientes calculados para todos los índices que se pudieron medir en cada galaxia, indicando además su correspondiente error, el valor de los índices calculado a partir del gradiente para una distancia de $1''$, y su error, y la desviación típica residual de los ajustes. Para cada galaxia se indica también su radio efectivo, el ángulo de posición de la rendija y la máxima dispersión de velocidades medida a lo largo del radio. Estos gradientes se representan gráficamente en las figuras del apéndice C.

Como comprobación adicional de la calidad de los gradientes obtenidos se compararon los valores de Mg_2 medidos en NGC 5846 con los publicados anteriormente por otros autores. En la figura 3.8 se presentan estas medidas después de haber escalado, cada distancia al centro de la galaxia, a la equivalente sobre el eje mayor (muy próximo a 0°) según el ángulo de posición de la rendija con que se observó. Los valores obtenidos por Carollo, Danziger y Buson (1993) con un ángulo de 270° se representan con círculos rellenos y los obtenidos con un ángulo de 0° con cuadrados abiertos; con estrellas se muestran las medidas de Fisher, Franx e Illingworth (1995) a lo largo del eje mayor y con triángulos las del eje menor; las de González (1993) en el eje mayor se indican con círculos abiertos y con el signo + las del eje menor. A todos estos valores se añaden los obtenidos en este trabajo, diferenciando los medidos en un ángulo de 77° con rombos y los medidos en 182° con cuadrados rellenos, y se comprueba la completa coincidencia con los anteriores. Con la línea continua se representa el ajuste a una recta de todos los datos representados y con la línea de puntos el valor calculado con el ajuste para una distancia de $1''$.

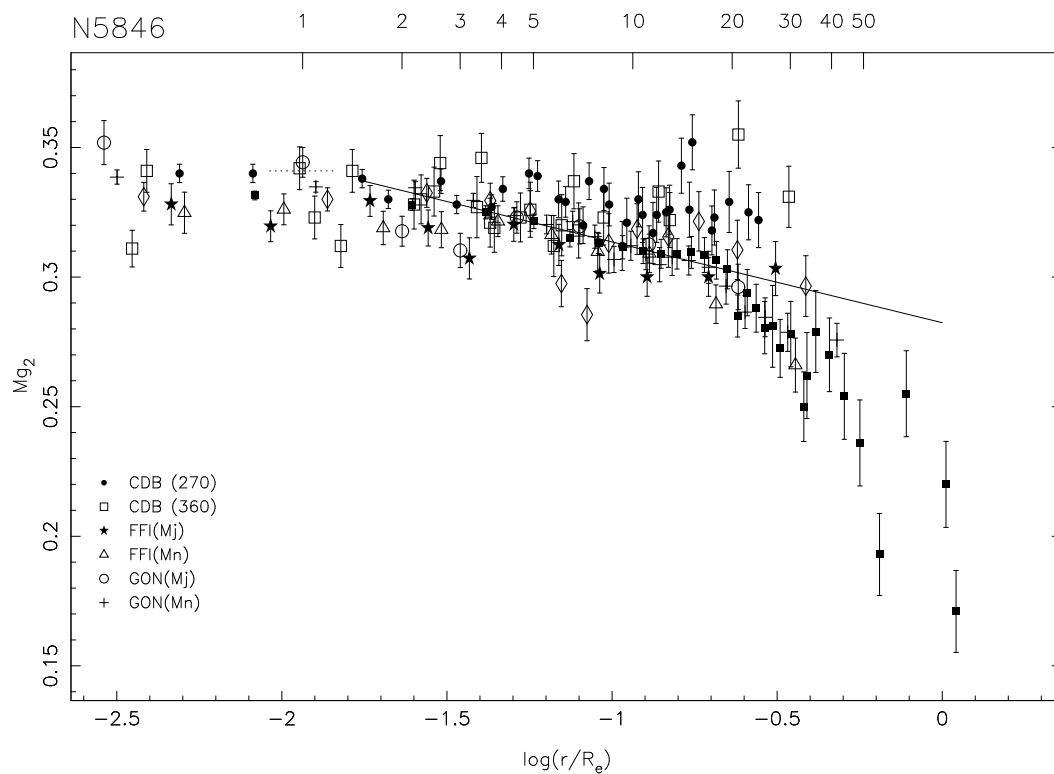


Figura 3.8: Comparación de los valores del índice Mg_2 medidos por distintos autores (ver texto) a lo largo del radio de la galaxia NGC 5846. En el eje superior se indica la distancia al centro de la galaxia en segundos de arco y en el inferior el logaritmo de su cociente con el radio efectivo.

Tabla 3.11: Gradientes de los índices de intensidad de líneas. En la cabecera de cada tabla se indica el radio efectivo adoptado (r_{ef}), el ángulo de posición de la rendija (AP), y la dispersión de velocidades máxima a lo largo del radio (ver texto) Para cada galaxia, las dos primeras líneas muestran los gradientes calculados y su error. Las dos siguientes dan el valor del índice calculado a partir del gradiente, para una distancia de un segundo de arco y su error. La última línea muestra la desviación típica residual de los ajustes.

NGC4415 (Campaña 1)						$r_{\text{ef}} = 18,6'' - \text{AP}=6^{\circ} - \sigma = 44 \text{ km/s}$					
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	NaD
Grad.	0.120	-1.131	-0.003	-0.011	-0.545	-0.776	0.019	-0.363	-0.092	-0.544	0.217
error	0.353	0.402	0.007	0.010	0.283	0.331	0.153	0.192	0.117	0.132	0.187
I(1")	1.887	5.675	0.066	0.177	3.363	2.940	2.391	1.676	1.061	0.804	1.496
error	0.292	0.330	0.006	0.008	0.232	0.271	0.126	0.159	0.096	0.108	0.153
sigma	0.484	0.552	0.009	0.014	0.387	0.455	0.210	0.264	0.161	0.182	0.257
NGC 4431 (Campaña 1)						$r_{\text{ef}} = 17,4'' - \text{AP}=182^{\circ} - \sigma = 75 \text{ km/s}$					
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	NaD
Grad.	-0.427	0.328	0.009	-0.009	-0.237	0.179	-0.057	-0.415	-0.189	0.081	-0.407
error	0.201	0.580	0.005	0.010	0.223	0.221	0.279	0.168	0.180	0.165	0.223
I(1")	2.347	4.407	0.062	0.180	3.096	2.480	2.477	2.134	1.166	0.681	1.992
error	0.179	0.516	0.004	0.009	0.198	0.197	0.247	0.149	0.160	0.147	0.198
sigma	0.322	0.927	0.007	0.016	0.357	0.352	0.445	0.269	0.289	0.265	0.358
NGC 4489 (Campaña 1)						$r_{\text{ef}} = 32,1'' - \text{AP}=160^{\circ} - \sigma = 54 \text{ km/s}$					
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	NaD
Grad.	-0.502	-2.433	0.016	-0.024	-0.921	-0.649	-0.763	-0.413	-0.235	-0.374	-0.853
error	0.366	0.360	0.006	0.003	0.235	0.168	0.285	0.098	0.091	0.216	0.210
I(1")	2.586	6.625	0.069	0.203	3.699	3.343	3.157	1.933	1.291	0.961	2.565
error	0.236	0.235	0.005	0.003	0.156	0.110	0.185	0.065	0.059	0.138	0.136
sigma	0.439	0.440	0.009	0.005	0.293	0.205	0.342	0.121	0.109	0.254	0.251
NGC 5846 (Campaña 1)						$r_{\text{ef}} = 128'' - \text{AP}=77^{\circ} - \sigma = 267 \text{ km/s}$					
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	NaD
Grad.	0.479	1.511	-0.009	-0.018	-0.695	0.057	-0.425	-0.207	-0.302	0.072	-0.548
error	0.309	0.335	0.007	0.010	0.233	0.277	0.235	0.213	0.091	0.172	0.270
I(1")	1.192	4.228	0.162	0.316	4.858	2.860	2.741	1.640	1.064	0.655	5.403
error	0.231	0.252	0.006	0.008	0.173	0.206	0.174	0.159	0.067	0.127	0.198
sigma	0.397	0.430	0.009	0.013	0.298	0.354	0.300	0.273	0.116	0.220	0.343
NGC 5846 (Campaña 1)						$r_{\text{ef}} = 128'' - \text{AP}=182^{\circ} - \sigma = 241 \text{ km/s}$					
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	NaD
Grad.	0.260	-0.077	-0.022	-0.041	-1.335	-0.911	-0.841	-0.080	-0.068	-0.059	-1.541
error	0.117	0.218	0.004	0.005	0.182	0.122	0.161	0.097	0.041	0.053	0.148
I(1")	0.968	4.873	0.174	0.329	5.269	3.221	2.784	1.648	0.949	0.805	5.607
error	0.107	0.200	0.004	0.005	0.161	0.112	0.143	0.090	0.037	0.047	0.128
sigma	0.255	0.477	0.009	0.010	0.374	0.267	0.338	0.214	0.089	0.111	0.294
NGC 5846A (Campaña 1)						$r_{\text{ef}} = 3,30'' - \text{AP}=182^{\circ} - \sigma = 195 \text{ km/s}$					
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	NaD
Grad.	0.299	-1.356	-0.030	-0.079	-1.470	-0.583	-0.698	-0.130	0.045	-0.283	-2.869
error	0.335	1.244	0.009	0.008	0.357	0.499	0.417	0.268	0.194	0.319	0.471
I(1")	1.457	5.204	0.149	0.289	4.765	2.891	2.571	1.739	0.642	0.809	4.808
error	0.100	0.382	0.003	0.003	0.110	0.151	0.123	0.080	0.058	0.094	0.142
sigma	0.121	0.464	0.004	0.004	0.134	0.182	0.148	0.097	0.069	0.113	0.171

Tabla 3.11: Continuación

IC 767 (Campaña 1)												
$r_{\text{ef}} = 5,23'' - \text{AP}=75^\circ - \sigma = 40 \text{ km/s}$												
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	NaD	
Grad.	-0.337	-1.179	0.012	0.001	-0.114	-1.259	-0.377	-0.731	0.030	-0.211	-0.834	
error	0.383	0.569	0.006	0.004	0.443	0.680	0.669	0.307	0.302	0.188	0.263	
I(1'')	2.948	4.848	0.036	0.117	2.170	2.727	2.298	1.618	0.871	0.628	1.588	
error	0.180	0.270	0.003	0.002	0.212	0.318	0.313	0.144	0.143	0.088	0.124	
sigma	0.278	0.418	0.005	0.004	0.329	0.490	0.482	0.223	0.222	0.136	0.191	
IC 794 (Campaña 1)												
$r_{\text{ef}} = 21,8'' - \text{AP}=105^\circ - \sigma = 48 \text{ km/s}$												
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	NaD	
Grad.	0.374	-1.143	-0.002	-0.002	0.212	-0.200	-0.859	-0.037	0.048	-0.125	-1.242	
error	0.753	0.457	0.006	0.010	0.464	0.395	0.501	0.448	0.380	0.200	0.655	
I(1'')	2.102	5.775	0.075	0.201	3.104	3.065	3.363	2.020	1.050	0.888	2.961	
error	0.492	0.293	0.004	0.007	0.301	0.255	0.321	0.290	0.245	0.128	0.417	
sigma	0.696	0.422	0.005	0.009	0.428	0.365	0.461	0.415	0.353	0.184	0.604	
IC 3393 (Campaña 1)												
$r_{\text{ef}} = 14,5'' - \text{AP}=133^\circ - \sigma = 32 \text{ km/s}$												
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	NaD	
Grad.	0.403	-0.670	-0.026	-0.032	-0.307	-1.433	0.332	-0.422	0.211	-0.045	-0.220	
error	0.486	0.860	0.009	0.013	0.534	0.486	0.337	0.470	0.261	0.147	0.489	
I(1'')	2.016	4.842	0.056	0.137	2.084	3.097	2.017	1.596	0.600	0.497	1.855	
error	0.306	0.533	0.006	0.008	0.334	0.300	0.211	0.293	0.163	0.091	0.305	
sigma	0.402	0.715	0.008	0.011	0.442	0.405	0.280	0.389	0.214	0.122	0.405	
UGC 7436 (Campaña 1)												
$r_{\text{ef}} = 21,4'' - \text{AP}=300^\circ - \sigma = 41 \text{ km/s}$												
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	NaD	
Grad.	-0.113	-0.688	0.017	-0.022	-0.818	-0.138	-0.235	0.170	0.032	0.349	0.106	
error	0.227	0.718	0.006	0.011	0.333	0.131	0.447	0.198	0.244	0.135	0.259	
I(1'')	2.336	4.220	0.040	0.150	2.795	2.418	2.261	1.208	0.883	0.336	0.949	
error	0.190	0.594	0.005	0.009	0.274	0.109	0.369	0.165	0.202	0.112	0.215	
sigma	0.263	0.843	0.007	0.013	0.392	0.153	0.524	0.230	0.283	0.156	0.301	
NGC 3605 (Campaña 3)												
$r_{\text{ef}} = 17,2'' - \text{AP}=17^\circ - \sigma = 87 \text{ km/s}$												
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406				
Grad.	0.006	-0.892	-0.034	-0.046	-0.710	-0.471	-0.750	-0.293				
error	0.134	0.268	0.010	0.009	0.132	0.137	0.125	0.165				
I(1'')	2.172	5.805	0.110	0.245	3.838	3.460	3.311	2.082				
error	0.073	0.179	0.008	0.007	0.066	0.069	0.060	0.108				
sigma	0.174	0.438	0.018	0.017	0.153	0.161	0.137	0.273				
NGC 4515 (Campaña 3)												
$r_{\text{ef}} = 14,7'' - \text{AP}=0^\circ - \sigma = 91 \text{ km/s}$												
	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406				
Grad.	0.154	-0.714	-0.038	-0.061	-0.736	-0.718	-0.498	-0.157				
error	0.176	0.296	0.013	0.014	0.122	0.154	0.189	0.109				
I(1'')	1.899	4.905	0.097	0.230	3.698	3.065	2.733	1.720				
error	0.087	0.175	0.009	0.009	0.051	0.066	0.082	0.057				
sigma	0.195	0.397	0.019	0.019	0.112	0.144	0.181	0.126				
NGC 2694 (Campaña 4)												
$r_{\text{ef}} = 12,8'' - \text{AP}=180^\circ - \sigma = 144 \text{ km/s}$												
	Fe4383	Ca4455	Fe4531	Fe4668	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406
Grad.	-3.173	1.633	-0.800	-1.040	-0.512	-1.128	0.107	0.105	-0.264	-0.645	-0.436	-0.675
error	1.313	2.464	0.401	1.448	0.211	0.578	0.047	0.061	0.474	0.205	0.193	0.347
I(1'')	7.444	3.785	2.058	6.324	1.816	5.559	0.115	0.260	4.385	3.376	3.240	2.106
error	0.390	0.813	0.154	0.434	0.063	0.186	0.021	0.028	0.160	0.070	0.064	0.153
sigma	0.806	1.848	0.342	0.972	0.140	0.419	0.043	0.056	0.361	0.156	0.145	0.318

Tabla 3.11: Continuación

NGC 3641 (Campaña 4) $r_{\text{ef}} = 16,1'' - \text{AP}=60^\circ - \sigma = 185 \text{ km/s}$												
	<i>Fe43</i>	<i>Ca44</i>	<i>Fe45</i>	<i>Fe46</i>	<i>Hβ</i>	<i>Fe50</i>	<i>Mg₁</i>	<i>Mg₂</i>	<i>Mgb</i>	<i>Fe52</i>	<i>Fe53</i>	<i>Fe54</i>
Grad.	2.969	0.606	-0.568	0.412	-1.177	-0.023	-0.041	-0.948	-0.361	-0.490	-0.391	-0.070
error	1.280	0.550	0.537	0.146	0.499	0.011	0.025	0.262	0.177	0.251	0.140	0.239
I(1")	-0.354	6.685	11.987	1.636	4.847	0.128	0.286	4.663	3.098	2.436	1.614	0.600
error	0.490	0.255	0.240	0.044	0.163	0.006	0.012	0.088	0.065	0.094	0.051	0.119
sigma	1.103	0.564	0.543	0.098	0.372	0.012	0.026	0.203	0.152	0.219	0.119	0.251
NGC 4464 (Campaña 4) $r_{\text{ef}} = 7,24'' - \text{AP}=146^\circ - \sigma = 136 \text{ km/s}$												
	<i>Fe43</i>	<i>Ca44</i>	<i>Fe45</i>	<i>Fe46</i>	<i>Hβ</i>	<i>Fe50</i>	<i>Mg₁</i>	<i>Mg₂</i>	<i>Mgb</i>	<i>Fe52</i>	<i>Fe53</i>	<i>Fe54</i>
Grad.	1.144	1.381	-0.794	0.453	-1.144	-0.018	-0.019	-0.573	0.213	-0.240	0.056	0.011
error	1.665	1.143	0.389	0.260	0.257	0.006	0.023	0.281	0.234	0.289	0.190	0.144
I(1")	0.440	10.977	11.217	1.797	5.474	0.098	0.248	4.328	3.073	2.634	1.657	0.900
error	0.814	0.689	0.220	0.108	0.106	0.004	0.014	0.119	0.111	0.139	0.090	0.090
sigma	1.935	1.604	0.519	0.261	0.253	0.009	0.032	0.290	0.275	0.344	0.221	0.201
NGC 4467 (Campaña 4) $r_{\text{ef}} = 4,78'' - \text{AP}=99^\circ - \sigma = 60 \text{ km/s}$												
	<i>Fe43</i>	<i>Ca44</i>	<i>Fe45</i>	<i>Fe46</i>	<i>Hβ</i>	<i>Fe50</i>	<i>Mg₁</i>	<i>Mg₂</i>	<i>Mgb</i>	<i>Fe52</i>	<i>Fe53</i>	<i>Fe54</i>
Grad.	-2.835	3.787	-1.181	0.155	-0.949	0.009	0.055	1.060	-0.064	-0.403	0.032	-0.284
error	3.525	0.817	0.474	0.461	0.975	0.015	0.030	0.339	0.355	0.489	0.448	0.321
I(1")	1.994	9.748	11.683	1.652	5.282	0.120	0.270	4.369	3.414	3.055	1.950	1.058
error	0.742	0.309	0.167	0.130	0.278	0.006	0.012	0.097	0.108	0.151	0.138	0.126
sigma	1.536	0.647	0.365	0.289	0.617	0.012	0.024	0.216	0.241	0.337	0.307	0.256
NGC 4486B (Campaña 4) $r_{\text{ef}} = 2,51'' - \text{AP}=90^\circ - \sigma = 207 \text{ km/s}$												
	<i>Fe43</i>	<i>Ca44</i>	<i>Fe45</i>	<i>Fe46</i>	<i>Hβ</i>	<i>Fe50</i>	<i>Mg₁</i>	<i>Mg₂</i>	<i>Mgb</i>	<i>Fe52</i>	<i>Fe53</i>	<i>Fe54</i>
Grad.	-5.354	0.201	-1.994	-0.312	-1.843	-0.029	-0.025	-0.855	0.022	-0.184	-0.174	-0.226
error	0.930	1.140	0.412	0.134	0.511	0.013	0.030	0.202	0.206	0.261	0.141	0.188
I(1")	2.516	8.314	12.697	1.742	5.083	0.161	0.333	4.996	3.312	2.571	1.763	0.846
error	0.385	0.586	0.196	0.046	0.177	0.007	0.016	0.071	0.079	0.107	0.056	0.102
sigma	0.891	1.306	0.441	0.104	0.405	0.016	0.035	0.162	0.180	0.250	0.128	0.218
NGC 5846A (Campaña 4) $r_{\text{ef}} = 3,30'' - \text{AP}=40^\circ - \sigma = 195 \text{ km/s}$												
	<i>Fe43</i>	<i>Ca44</i>	<i>Fe45</i>	<i>Fe46</i>	<i>Hβ</i>	<i>Fe50</i>	<i>Mg₁</i>	<i>Mg₂</i>	<i>Mgb</i>	<i>Fe52</i>	<i>Fe53</i>	<i>Fe54</i>
Grad.	-3.444	-0.380	-2.438	-0.343	-1.504	0.033	0.030	-0.187	-0.910	-0.225	-0.411	-0.632
error	3.586	0.858	2.052	0.772	0.460	0.019	0.025	0.294	0.731	0.753	0.492	0.220
I(1")	3.386	4.251	10.547	1.649	4.594	0.162	0.310	4.636	3.171	2.431	1.772	0.703
error	1.067	0.278	0.648	0.222	0.132	0.007	0.008	0.085	0.216	0.227	0.146	0.075
sigma	2.290	0.565	1.357	0.483	0.286	0.013	0.017	0.185	0.468	0.489	0.315	0.147
VCC 1148 (Campaña 4) $r_{\text{ef}} = 3,89'' - \text{AP}=170^\circ - \sigma = 41 \text{ km/s}$												
	<i>Fe43</i>	<i>Ca44</i>	<i>Fe45</i>	<i>Fe46</i>	<i>Hβ</i>	<i>Fe50</i>	<i>Mg₁</i>	<i>Mg₂</i>	<i>Mgb</i>	<i>Fe52</i>	<i>Fe53</i>	<i>Fe54</i>
Grad.	0.476	4.449	1.265	-0.995	1.621	0.022	0.048	-0.178	0.488	-0.119	-0.639	-0.387
error	2.495	3.457	2.103	0.485	3.456	0.018	0.022	0.569	0.846	0.671	0.519	0.301
I(1")	0.196	10.455	11.979	2.280	5.187	0.111	0.269	4.513	3.583	2.692	1.746	1.021
error	0.696	1.026	0.599	0.124	0.901	0.006	0.007	0.146	0.228	0.182	0.140	0.092
sigma	1.421	2.033	1.211	0.257	1.855	0.011	0.013	0.302	0.471	0.376	0.288	0.177
VCC 1627 (Campaña 4) $r_{\text{ef}} = 4,07'' - \text{AP}=164^\circ - \sigma = 41 \text{ km/s}$												
	<i>Fe43</i>	<i>Ca44</i>	<i>Fe45</i>	<i>Fe46</i>	<i>Hβ</i>	<i>Fe50</i>	<i>Mg₁</i>	<i>Mg₂</i>	<i>Mgb</i>	<i>Fe52</i>	<i>Fe53</i>	<i>Fe54</i>
Grad.	3.114	-3.632	-2.090	0.035	-1.741	0.016	-0.025	-0.712	-1.767	-1.205	-1.014	-1.271
error	3.293	9.047	0.932	0.631	1.124	0.013	0.013	0.421	0.901	0.651	0.573	0.269
I(1")	2.223	5.088	9.550	2.147	7.118	0.062	0.194	3.695	2.983	2.999	1.914	1.137
error	1.124	2.565	0.315	0.168	0.310	0.005	0.005	0.111	0.249	0.183	0.159	0.099
sigma	2.422	5.508	0.669	0.360	0.671	0.010	0.010	0.239	0.540	0.398	0.344	0.200

Capítulo 4

Dinámica de galaxias elípticas enanas

En este capítulo se analiza la cinemática de las poblaciones estelares que dan lugar al espectro observado y que típicamente cubren el rango entre 3700 y 6000 Å. En el apéndice A se muestran los ajustes entre los espectros extraídos del centro de las galaxias y los modelos creados con el programa *model* de RED_{mc}E, a partir de la combinación óptima de espectros estelares, tal y como se describe en el apartado 3.1. Los valores de velocidad radial y dispersión de velocidades medidos a lo largo del radio (generalmente en el eje mayor), se encuentran en las tablas del apéndice B junto con las correspondientes gráficas de curvas de rotación y gradientes de la dispersión de velocidades.

4.1. Introducción

El estudio de la cinemática interna de las dEs, y más en concreto la medida de sus correspondientes curvas de rotación, es una herramienta muy útil para analizar una posible dicotomía entre galaxias elípticas normales y enanas y para evaluar los distintos escenarios de formación para estas. Desde el trabajo de Davies et al. (1983), y el más reciente de Halliday et al. (2001), se conoce bien que las galaxias elípticas de menor luminosidad, a diferencia de las más brillantes, están soportadas por rotación. Es decir, sus achatamientos aparentes se corresponden con los esperados por la rotación de las galaxias. Si las dEs fueran la extensión de las elípticas clásicas hacia luminosidades aún menores, se esperaría entonces encontrar en ellas velocidades altas de rotación. Igualmente, la cuestión de si las dEs muestran una rotación significativa, en comparación con su dispersión de velocidades, es importante en el contexto de los posibles escenarios de formación. Moore et al. (1998) demuestran que una galaxia en un cúmulo puede verse despojada de su medio interestelar y hacerse dinámicamente más caliente por las interacciones, tanto con otras galaxias dentro del mismo cúmulo, como con el propio potencial gravitacional de este. Este proceso de *harassment* que sufren galaxias en cúmulos puede transformar una espiral en una

elíptica enana. Aunque este proceso también tiende a incrementar la dispersión de velocidades del sistema, es menos eficiente descomponiendo los movimientos de rotación y una fracción significativa del momento angular de la galaxia progenitora se mantiene. Así, midiendo las velocidades de rotación se puede restringir el tipo de galaxia de la posible progenitora.

Hasta hace poco, tan sólo se habían medido curvas de rotación para 6 dEs: 2 en el cúmulo de Virgo (VCC 351 y IC 794; Bender y Nieto 1990), las tres compañeras de M 31 (NGC 147, NGC 185 y NGC 205; Bender, Paquet y Nieto 1991) y la dE (o esferoidal) del Grupo Local Fornax (Mateo et al. 1991). Además, tan sólo para unas cuantas dEs, en distintos entornos y fuera del Grupo Local (Peterson y Caldwell 1993), se tenían medidas de la dispersión de velocidades global. En todos estos casos analizados, la velocidad de rotación es muy pequeña y no es compatible con la que tendría un cuerpo, oblongo e isotrópico, achatado por rotación (Binney 1978). A estos escasos datos se han añadido recientemente otras 6 medidas en el cúmulo de Virgo (VCC 452, IC 3344, IC 794, VCC 1254, VCC 1577 y IC 3658; Geha et al. 2002). De nuevo, en ninguna de ellas se encuentra rotación. Tan solo la dE FS 76 (De Ricke et al. 2001), en el grupo de NGC5044, muestra una rotación tan alta como la predicha por los modelos isotrópicos. En este trabajo se ha ampliado la muestra observacional con medidas precisas de otras 7 dE's, con lo que casi se ha doblado la muestra previa. Así como 7 compactas y 4 gigantes que permitirán un análisis más completo, al comparar la cinemática de los distintos tipos de elípticas por un lado, y por otro, contrastar las velocidades con las obtenidas anteriormente por otros autores.

4.2. Medidas de parámetros dinámicos

Para poder cuantificar que soporte rotacional tienen las galaxias de la muestra, se ha realizado el test habitual de comparar la velocidad máxima de rotación (V_{\max}) con la dispersión de velocidades media ($\bar{\sigma}$).

Siguiendo el proceso que se describe en la sección 3.1, se midieron tanto las velocidades radiales como la dispersión de velocidades en el centro de las galaxias y a distintas distancias de este a lo largo del eje mayor, donde generalmente se situó la rendija del espectrógrafo. En ese mismo apartado se describe también como se llevó a cabo, mediante simulaciones numéricas, el cálculo de los errores correspondientes de estos parámetros. Como combinación óptima de los espectros estelares siempre se utilizó la que se obtuvo al medir los valores centrales, tanto porque al alejarnos del centro la peor calidad de los espectros lleva a ajustes menos realistas, como por considerar que las poblaciones estelares no varían mucho a lo largo del radio, dados sus gradientes relativamente planos (ver capítulo 6).

En la tabla 3.2 se dan los valores centrales de velocidad radial y dispersión de velocidades obtenidos para todas las galaxias de la muestra y, en el apéndice B se muestran tabulados los medidos a lo largo del radio para las 18 galaxias en las que

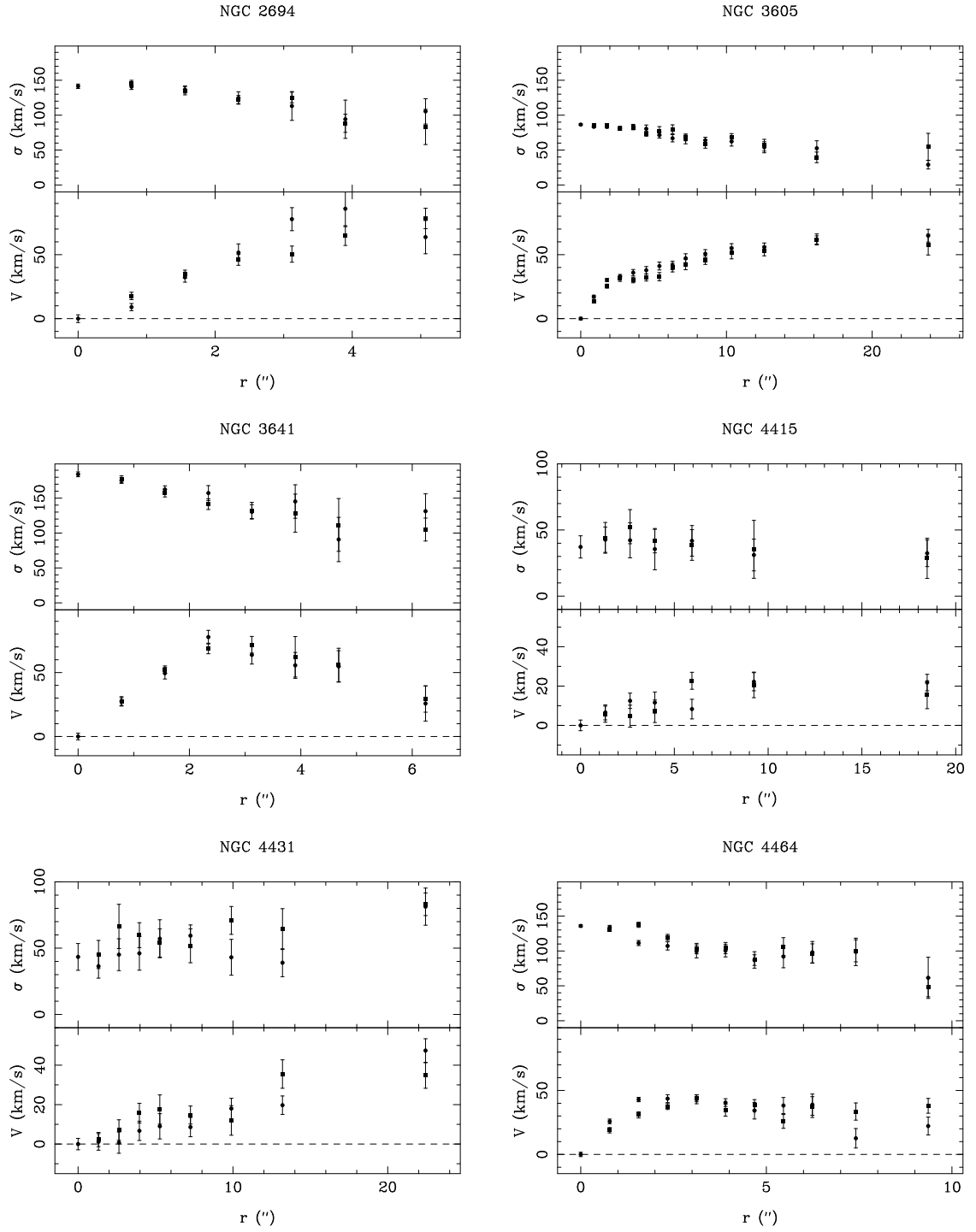


Figura 4.1: Los paneles superiores muestran los perfiles de la dispersión de velocidades y los inferiores la curva de rotación medidos en cada galaxia. Ambos parámetros se representan frente a la distancia al centro y se superponen los valores de ambos lados, diferenciándolos con distintos símbolos.

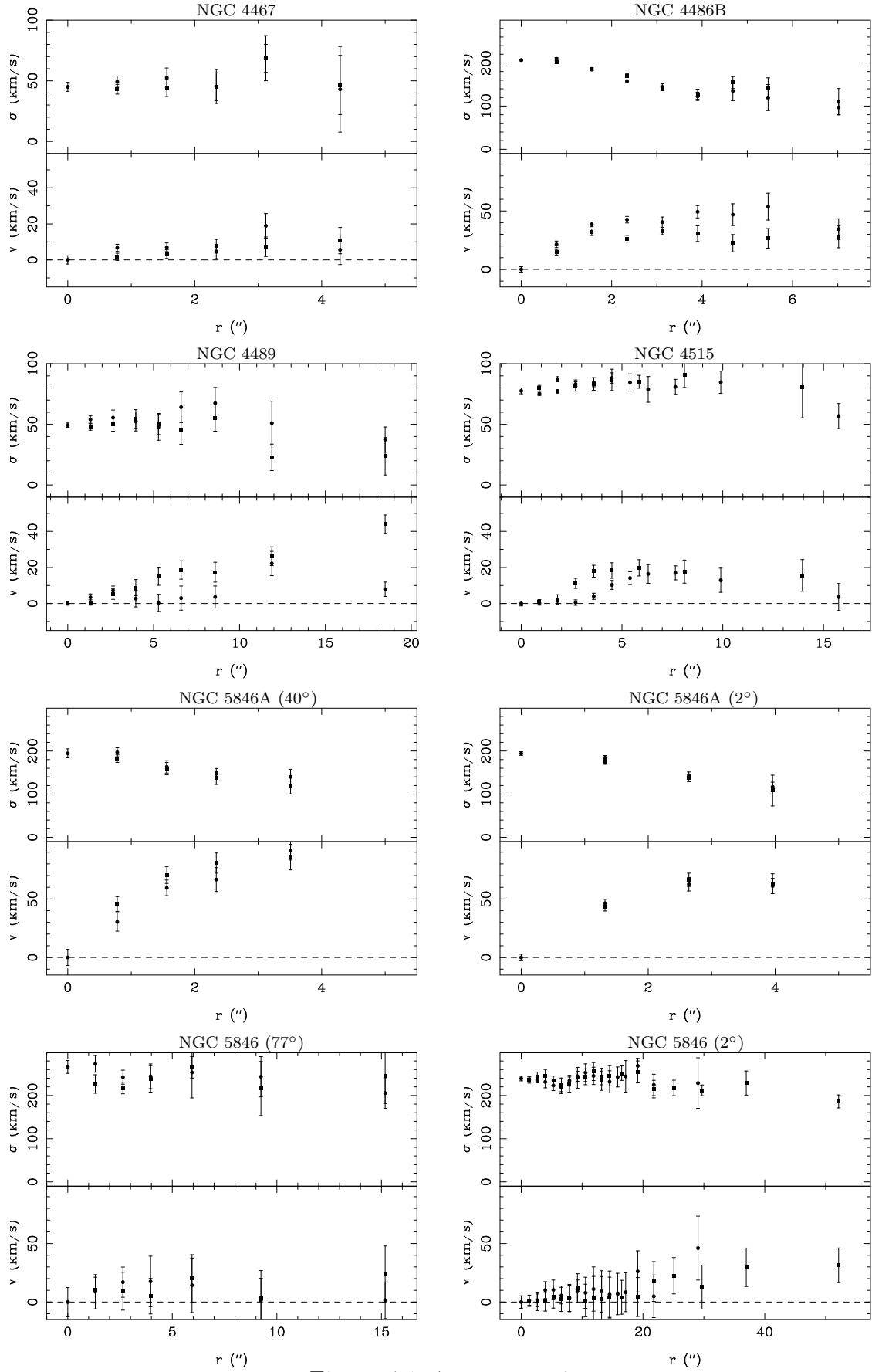


Figura 4.1: (continuación)

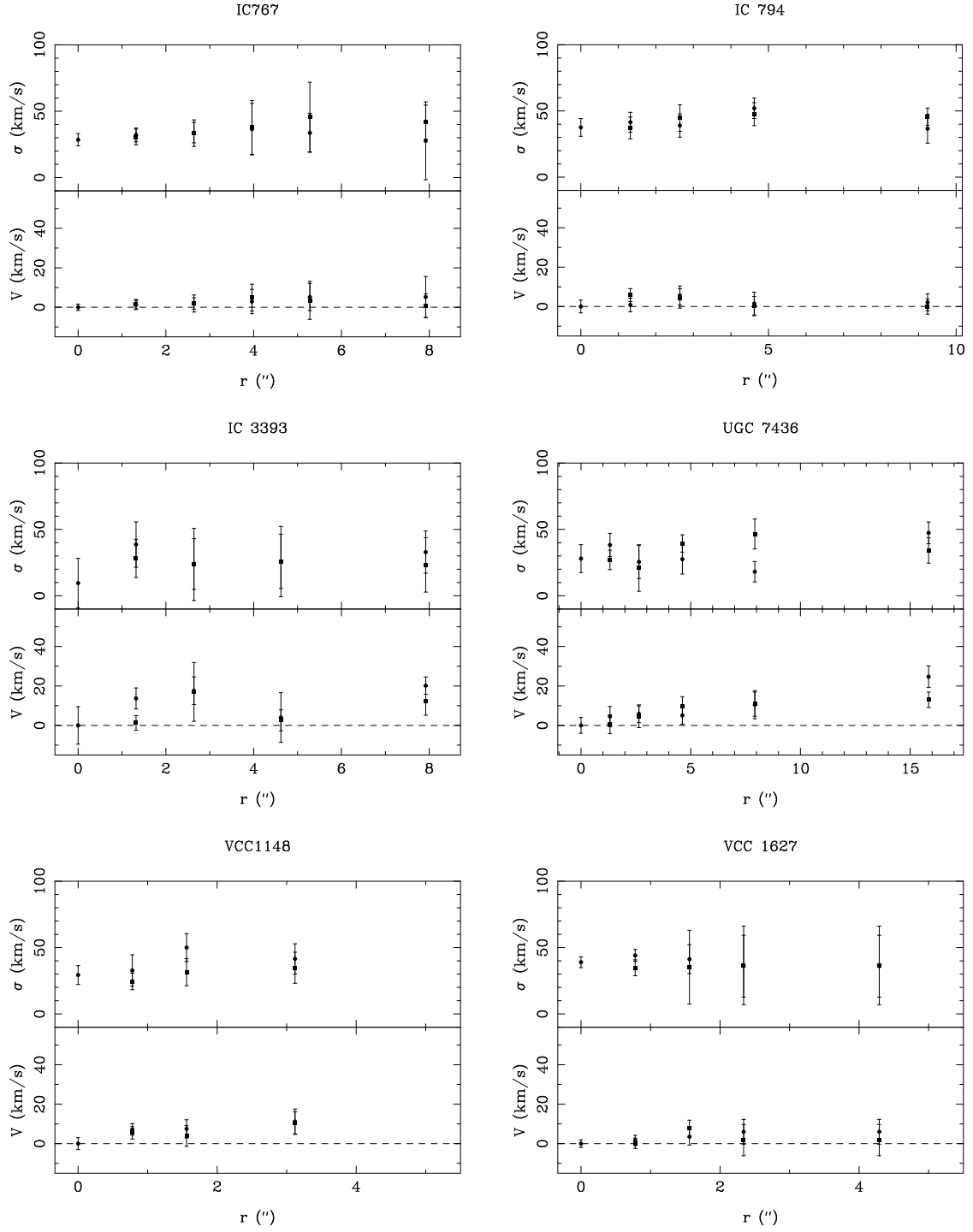


Figura 4.1: (continuación)

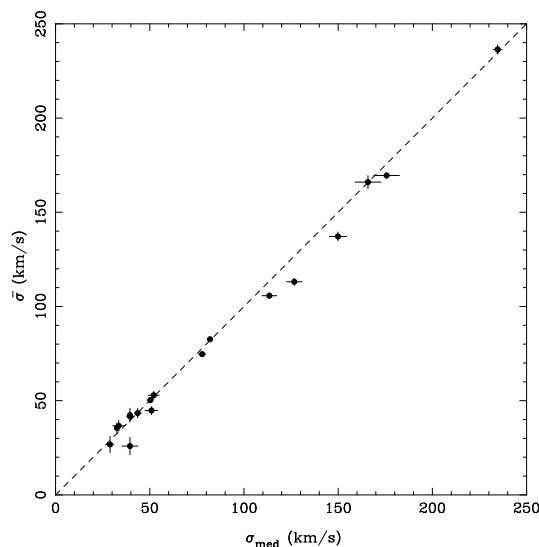


Figura 4.2: Comparación de los valores de dispersión de velocidades calculados como media de los medidos en cada espectro extraído a lo largo del radio (σ_{med}) frente a los medidos en el espectro obtenido al sumar los espectros individuales ($\bar{\sigma}$).

se han podido derivar curvas de rotación y gradientes de dispersión de velocidades. En la figura 4.1 se presentan gráficamente estos parámetros, doblados respecto del centro de cada galaxia y diferenciando con círculos y cuadrados los valores obtenidos a ambos lados del mismo.

Siguiendo los trabajos previos en el tema, se estimó la velocidad máxima de rotación como la media de los dos pares de valores de velocidad de rotación más altos a ambos lados del centro pesados con sus respectivos errores. Este valor de V_{max} es una estimación conservativa, pues en algunos casos se observa que la curva de rotación aumenta hacia los puntos más exteriores observados, por lo que la velocidad máxima de rotación obtenida se puede considerar como un límite inferior de la verdadera. Notese que los modelos dinámicos isotrópicos de Prugniel y Simien (2002), predicen que las galaxias E poco masivas, con perfiles de luminosidad $r^{1/n}$ (Sérsic 1968) y con $n = 1$ ó 2 , presentan su máxima rotación a una distancia típica de 2 veces el radio efectivo. En cambio, para las elípticas más masivas, este máximo en la velocidad de rotación se predice hacia $0,5 r_e$.

La dispersión de velocidades media se ha calculado, en principio, como la media ponderada de todos los valores obtenidos entre $1''$ y el radio efectivo (σ_{med}). En algunas ocasiones, las medidas en los espectros extraídos de los extremos de las galaxias quizás no son muy realistas debido a la baja relación S/N (se muestran en las tablas del apéndice B). En la sección 3.1.2 se analizó la fiabilidad de la medida de la dispersión de velocidades en función de la relación señal/ruido y la eficacia del método utilizado cuando se empeora la calidad de los espectros. La conclusión fue que para poder medir dispersión de velocidades de la mitad de la resolución

espectral, con errores relativos inferiores al 50 %, es necesario que los espectros tengan una señal/ruido mejor que 20–25. Puesto que esto no se cumple para algunos espectros de las regiones exteriores, y con el fin de obtener medidas mas robustas de la dispersión de velocidades media, se sumaron todos los espectros individuales con $r < r_{\text{ef}}$, después de haberlos corregido de los respectivos desplazamientos debidos a las distintas velocidades radiales. En estos espectros suma, con relaciones S/N bastante más altas, se midieron $\bar{\sigma}$ para cada galaxia. Estos valores, en vez de σ_{med} , son los que se utilizaron para el posterior estudio de la dinámica (sección 4.4). Como se puede apreciar en la figura 4.2, ambos valores de la dispersión de velocidades global de las galaxias son coincidentes dentro de los errores de las medidas, y de forma más precisa cuando estos errores son menores. También se comprueba en esta figura que, de forma general, los errores en la medida de $\bar{\sigma}$ son menores que los de σ_{med} .

En la tabla 4.1 se muestran las medidas de V_{max} , σ_{med} , $\bar{\sigma}$ y otros parámetros relevantes.

4.3. Comparación con las medidas de otros autores

En este apartado se comparan las dispersiones de velocidades medidas en este trabajo con las de otros autores. Esto es necesario para comprobar la fiabilidad y precisión de nuestras medidas. Dada la heterogeneidad y falta de datos previos sobre curvas de rotación y perfiles de dispersión de velocidades, esta comparación se ha hecho únicamente para la dispersión de velocidades central. Hay que indicar que diversos factores, tales como una distinta resolución o muestreo espacial, valores relativamente altos de *seeing* o los efectos de la rotación en los valores derivados de σ_0 , pueden afectar a dicha comparación.

En la tabla 4.2 se dan en la segunda columna nuestras medidas de σ_0 con sus correspondientes errores, en la tercera las ofrecidas por la base de datos extragalácticos de Lyon-Meudon (*LEDA*) y en las siguientes las encontradas en la bibliografía. La referencia de la última columna (Prugniel y Simien 1996) es realmente una recopilación de todos los valores publicados por diferentes autores hasta esa fecha. Los valores que se muestran en esta columna son la media de los distintos valores recogidos para cada galaxia y el error dado es la dispersión de estos.

Comparando las medidas de la dispersión de velocidades de las galaxias de la muestra con la media de todos los valores para cada una de las 21 galaxias que se relacionan en la tabla, se encuentra que las medidas de este trabajo son menores, con una diferencia media de 7.5 km/s y una dispersión de estas diferencias de 2.3 km/s. Ahora bien, si solamente comparamos las 9 galaxias con $\sigma_0 > 100$ km/s no hay prácticamente ninguna diferencia (0.2 ± 2.3 km/s). En cambio, para las 12 galaxias con $\sigma_0 < 100$ km/s la diferencia media y la dispersión de las diferencias es de -13.2 y 2.8 km/s, respectivamente. De aquí se desprende por un lado, lo adecuado de las medidas y la fiabilidad del método utilizado, dada la clara coincidencia para

Tabla 4.1: Parámetros cinemáticos de la muestra de galaxias. En la segunda columna se muestra el tipo de galaxia con arreglo a la clasificación hecha en la sección 2.2. En la tercera columna se presentan las magnitudes absolutas en la banda B que se daban en la tabla 2.3. En las siguientes columnas se indican la elipticidad (ε) con la referencia de la fuente: (1) Bender y Nieto (1990), (2) Lauer et al. (1995) (3) Binggeli & Cameron (1993), (4) González (1993), (5) Ryden et al. (1999) y el radio efectivo con su referencia: (1) Binggeli y Cameron (1993), (2) Bender, Burstein y Faber (1993), (3) Faber et al. (1989). En la sexta se indica el ángulo de posición de la rendija con que se observó. La séptima muestra la dispersión de velocidades (σ_0 , en km s^{-1}) medida en el espectro central obtenido según se describe en la sección 3.1.1. En las dos siguientes se muestra la media de las dispersiones de velocidades (σ_{med}) medidas en los espectros individuales extraídos entre $1''$ y el radio efectivo y la medida en el espectro suma de estos ($\bar{\sigma}$). A continuación se indica la relación señal/ruido de este espectro. En las tres últimas se presentan la velocidad de rotación máxima (V_{max}), el cociente entre esta y $\bar{\sigma}$, y el parámetro de anisotropía ($(V/\sigma)^*$), junto con los errores calculados como se describe en el texto.

Galaxia	Tipo	M_B	ε (ref)	r_e (ref)	AP	σ_0	σ_{med}	$\bar{\sigma}$	S/N	V_{max}	V/σ	$(V/\sigma)^*$
NGC 2694	g	-18,97	0.18 (1)	12.8 (2)	180	142.7 \pm 1.6	126.7 \pm 4.1	113.1 \pm 1.9	83	72.6 \pm 4.7	0.64 \pm 0.04	1.38 \pm 0.28
NGC 3605	g	-17,58	0.34 (2)	17.2 (2)	17	87.6 \pm 0.8	77.8 \pm 1.9	74.7 \pm 0.7	142	62.0 \pm 1.0	0.83 \pm 0.02	1.17 \pm 0.15
NGC 3641	g	-17,54	0.15 (1)	16.1 (2)	60	170.8 \pm 1.8	149.9 \pm 4.6	137.2 \pm 2.3	105	63.8 \pm 4.8	0.47 \pm 0.04	1.12 \pm 0.26
NGC 4415	d	-17,14	0.11 (3)	18.6 (1)	6	42.7 \pm 4.2	39.5 \pm 1.8	41.7 \pm 2.2	85	20.9 \pm 1.2	0.50 \pm 0.04	1.44 \pm 0.39
NGC 4431	d	-17,20	0.42 (5)	17.4 (1)	182	41.9 \pm 4.0	52.1 \pm 2.9	52.9 \pm 2.1	84	32.0 \pm 6.3	0.60 \pm 0.12	0.72 \pm 0.16
NGC 4464	c	-17,50	0.31 (2)	7.24 (1)	146	128.7 \pm 1.0	113.5 \pm 3.9	105.7 \pm 1.5	158	41.3 \pm 1.7	0.39 \pm 0.02	0.59 \pm 0.08
NGC 4467	c	-15,86	0.37 (2)	4.78 (1)	99	51.4 \pm 1.1	50.9 \pm 3.3	44.8 \pm 2.1	67	10.5 \pm 2.9	0.23 \pm 0.07	0.31 \pm 0.09
NGC 4486B	c	-16,61	0.15 (2)	2.51 (1)	90	192.3 \pm 1.3	175.7 \pm 6.8	169.5 \pm 1.5	141	40.4 \pm 6.2	0.24 \pm 0.04	0.57 \pm 0.15
NGC 4489	d	-18,18	0.12 (4)	32.1 (3)	160	51.1 \pm 1.8	50.3 \pm 1.7	50.3 \pm 1.4	122	22.8 \pm 8.1	0.45 \pm 0.16	1.24 \pm 0.54
NGC 4515	d	-17,60	0.14 (1)	14.7 (2)	0	77.6 \pm 0.8	82.0 \pm 1.1	82.6 \pm 0.9	126	17.9 \pm 0.6	0.22 \pm 0.01	0.54 \pm 0.12
NGC 5846	g	-21,12	0.07 (4)	128.3 (2)	182	248.8 \pm 3.5	234.6 \pm 2.3	236.4 \pm 2.4	208	31.1 \pm 3.2	0.13 \pm 0.01	0.48 \pm 0.17
NGC 5846A	c	-17,76	0.23 (1)	3.30 (2)	40	199.0 \pm 2.7	165.8 \pm 6.9	166.0 \pm 3.4	113	63.5 \pm 1.2	0.38 \pm 0.01	0.71 \pm 0.12
IC 767	c	-16,50	0.24 (1)	5.23 (2)	75	30.1 \pm 2.6	32.6 \pm 0.8	35.5 \pm 2.7	84	4.8 \pm 0.4	0.14 \pm 0.02	0.24 \pm 0.05
IC 794	d	-16,57	0.28 (5)	21.8 (2)	105	41.1 \pm 3.2	43.6 \pm 1.9	43.4 \pm 2.5	64	3.9 \pm 1.3	0.09 \pm 0.03	0.15 \pm 0.05
IC 3393	d	-16,22	0.52 (5)	14.5 (1)	133	25.0 \pm 7.6	28.9 \pm 2.0	26.8 \pm 4.3	65	18.0 \pm 1.7	0.67 \pm 0.12	0.65 \pm 0.13
UGC 7436	d	-16,62	0.44 (5)	21.4 (1)	300	35.0 \pm 4.1	33.5 \pm 3.2	36.7 \pm 2.8	78	14.9 \pm 3.1	0.41 \pm 0.09	0.46 \pm 0.11
VCC 1148	c	-14,97	0.13 (3)	3.89 (1)	170	30.5 \pm 3.2	39.5 \pm 4.2	25.9 \pm 4.6	35	6.3 \pm 0.7	0.24 \pm 0.05	0.63 \pm 0.20
VCC 1627	c	-15,78	0.13 (2)	4.07 (1)	164	39.3 \pm 1.8	39.5 \pm 1.5	42.3 \pm 3.7	46	1.7 \pm 1.2	0.04 \pm 0.03	0.10 \pm 0.08

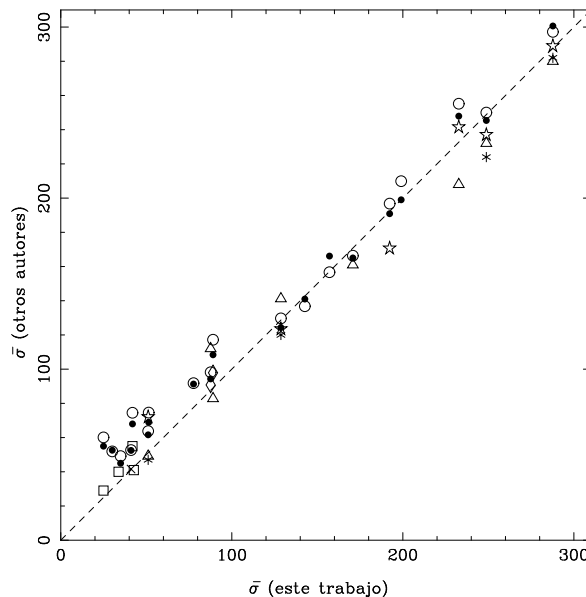


Figura 4.3: Comparación de los valores de dispersión de velocidades central medidos en este trabajo con los publicados por otros autores. Se identifican con círculos abiertos los valores de LEDA, con una X el de GEH, con cuadrados los de SIM, con triángulos los de BLA, con rombos los de HAL, con estrellas los de SMI, con asteriscos los de TRA y con círculos rellenos los de PRU. Los errores, que no se han representado por claridad, de forma generalizada son menores que el tamaño de los símbolos en la escala de esta gráfica.

las galaxias con mayores σ_0 y por otro, que tal y como se aprecia gráficamente en la figura 4.3, las diferencias más significativas se encuentran para las galaxias con menores valores de σ_0 , que son las que muestran mayores errores en las medidas.

Este segundo aspecto queda patente si nos fijamos en los valores obtenidos de *LEDA* que, al ser una media de todos los valores de su recopilación, llevan asociado un sesgo hacia medidas más altas, dada la limitación intrínseca de parte de sus fuentes para medir valores pequeños. En particular, para todas las galaxias con $\sigma_0 < 100$ km/s, nuestras medidas son inferiores que los promedios dados en *LEDA*. Por ejemplo, para NGC 4489, el valor medido ($\sigma_0 = 51.1 \pm 1.8$) coincide con referencias originales como Davies et al. (1983; $\sigma_0 = 53 \pm 15$), Faber et al. (1989; $\sigma_0 = 49 \pm 7$) o González (1993, $\sigma_0 = 48 \pm 3$). Sin embargo es menor que los valores dados por Simien y Prugniel (1997; $\sigma_0 = 63 \pm 13$) que usan una resolución instrumental de 82 km/s y observaciones con *seeing* entre 3.5'' y 5'', o Smith et al. (2000; $\sigma_0 = 72 \pm 7$), con una limitación por la resolución instrumental de 98 km/s. Para IC 794, la dispersión de velocidades medida ($\sigma_0 = 41.1 \pm 3.2$) también es menor que la de publicaciones previas, pero es claramente coincidente con la obtenida por Geha et al. (2002; $\sigma_0 = 41.6 \pm 0.9$) con el telescopio de 10 metros Keck-II y con resolución instrumental de 23 km/s. Este también es el caso de otras galaxias para las que nosotros tenemos pequeños valores de σ_0 , como NGC 4431, NGC 4467, NGC 4515, IC 767, IC 3393 o UGC 7436. Para ellas, las referencias siguientes (Bender y

Nieto 1990; Bender et al. 1993) usadas en las compilaciones de *LEDA* y Prugniel y Simien (1996) dan sistemáticamente mayores σ_0 debido a sus limitaciones instrumentales. Sin embargo, las medidas de Simien y Prugniel (2002) con una resolución instrumental de 25 km/s para este tipo de galaxias son compatibles con las de nuestro trabajo. Estos últimos autores, analizando los efectos producidos por diferencias en resolución espacial, concluyen que altos valores de *seeing* (incluso 5" o 6" en algunas de sus observaciones) no aumentan la incertidumbre en las medidas de σ_0 más de un $\sim 5\%$. En cambio, si juntamos este efecto con el aumento en σ_0 debido a altas velocidades de rotación dentro de $0.5 r_e$, para las galaxias de menor tamaño angular, la incertidumbre en la medida de la dispersión de velocidades central puede aumentar hasta un 20%.

4.4. Soporte rotacional de las galaxias E enanas

En las figuras 4.1 se aprecia, que para la mayoría de las galaxias de la muestra, los perfiles de dispersión de velocidades son prácticamente planos y en algunos casos descienden ligeramente desde el centro hacia fuera. Igualmente, la mayoría de ellas también presentan velocidades de rotación no despreciables.

Para poder cuantificar el soporte rotacional de estos objetos, hemos comparado la máxima velocidad de rotación (V_{\max}) con la dispersión de velocidades media ($\bar{\sigma}$). Estos valores, calculados según se describe en la sección 4.2, se listan en la tabla 4.1. En la figura 4.4 se presenta el cociente $V_{\max}/\bar{\sigma}$ frente a la elipticidad, obtenida de las fuentes bibliográficas más recientes. Con la línea continua se representan las predicciones de Binney (1978) para la relación esperada para un esferoide oblongo con una distribución de velocidades isotrópica y, por tanto, achatado por rotación. Se incluyen además, con carácter comparativo, medidas previas de Bender y Nieto (1990), de FS 76 por De Rijcke et al. (2001) y de VCC 1254, VCC 452, VCC 1577, IC 3658, IC 794 e IC 3344 (de menor a mayor ϵ) por Geha et al. (2002). En esta figura se han unido con líneas de trazos los distintos valores representados de una misma galaxia. De las galaxias de este trabajo, además de dos elípticas gigantes y cuatro compactas, hay dos enanas en común con Bender y Nieto (1990). Para NGC 4515, tanto en su trabajo como en el nuestro, se obtienen medidas hasta una distancia del centro de $\sim 16''$ y se llega al mismo valor de $V_{\max}/\bar{\sigma} = 0.22$. Sin embargo para IC 794 se obtienen valores distintos debido a que ellos miden la máxima velocidad de rotación a $12''$ y los nuestros se circunscriben a $10''$. De aquí que ellos obtienen $V_{\max}/\bar{\sigma} = 0.20$ frente a $V_{\max}/\bar{\sigma} = 0.09$ en nuestro caso. En esta misma galaxia Geha et al. (2002) obtienen un valor aún menor ($V_{\max}/\bar{\sigma} = 0.05$) porque sus observaciones se restringen a una distancia del centro de la galaxia de $\sim 6''$. De forma similar, la elipticidad va a depender de que parte de la galaxia se alcanza en la observación ya que, tal y como indica Prugniel (1989), la elipticidad de IC 794 alcanza $\epsilon = 0.3$ a los $5''$ y va disminuyendo hasta $\epsilon = 0.2$ a $25''$.

Como se desprende de esta figura, y tal y como se mencionó anteriormente,

Tabla 4.2: Comparación de la dispersión de velocidades (km/s), medida en el centro de las galaxias, de este trabajo con las de otros autores. Las referencias son: LEDA base de datos extragalácticos de Lyon-Meudon (versión de 2002), GEH (Geha et al. 2002), SIM (Simien y Prugniel 2002), BLA (Blakeslee et al. 2001), HAL (Halliday et al. 2001), SMI (Smith et al. 2000), TRA (Trager 1997), PRU (Prugniel y Simien 1996).

Galaxia	Este trabajo		LEDA	GEH	SIM	BLA	HAL	SMI	TRA	PRU
NGC2694	142.7 \pm 1.6		136.8 \pm 1.1							141.0 \pm 4.0
NGC3605	87.6 \pm 0.8		98.2 \pm 1.1			112.0 \pm 1.1	90.8 \pm 0.5			94.3 \pm 3.8
NGC3641	170.8 \pm 1.8		166.3 \pm 1.0			161.0 \pm 1.1				165.0 \pm 1.0
NGC4374	287.7 \pm 1.6		297.2 \pm 1.0			280.0 \pm 1.0		288.9 \pm 4.8	282 \pm 3	300.6 \pm 3.0
NGC4387	89.0 \pm 1.4		117.2 \pm 1.2			82.8 \pm 1.1	97.9 \pm 0.6			108.4 \pm 5.1
NGC4406	232.7 \pm 1.1		255.2 \pm 1.1			208.0 \pm 1.0		241.5 \pm 6.5		247.9 \pm 5.1
NGC4415	42.7 \pm 4.2				41 \pm 3					
NGC4431	41.9 \pm 4.0		74.5 \pm 1.1		55 \pm 4					68.0
NGC4435	157.1 \pm 1.1		156.7 \pm 1.0							166.1 \pm 3.0
NGC4436	33.8 \pm 15.0				40 \pm 4					
NGC4464	128.7 \pm 1.0		129.7 \pm 1.1			141.2 \pm 0.6		123.4 \pm 7.0	120 \pm 9	124.3 \pm 6.1
NGC4467	51.4 \pm 1.1		74.6 \pm 1.2							68.9 \pm 5.1
NGC4486B	192.3 \pm 1.3		196.8 \pm 1.1					170.6 \pm 2.5		190.9 \pm 4.9
NGC4489	51.1 \pm 1.8		63.8 \pm 1.1			49.2 \pm 1.0		72.0 \pm 7.0	47 \pm 4	61.6 \pm 3.2
NGC4515	77.6 \pm 0.8		91.8 \pm 1.1							91.3 \pm 2.2
NGC5846	248.8 \pm 3.5		250.0 \pm 1.1			232.0 \pm 1.0		237.0 \pm 3.0	224 \pm 4	245.4 \pm 4.9
NGC5846A	199.0 \pm 2.7		209.9 \pm 1.2							199.0 \pm 9.7
IC767	30.1 \pm 2.6		51.9 \pm 1.1							52.6 \pm 1.0
IC794	41.1 \pm 3.2		52.7 \pm 1.1	41.6 \pm 0.9						52.5 \pm 0.9
IC3393	25.0 \pm 7.6		60.1 \pm 1.1		29 \pm 4					55.0
UGC7436	35.0 \pm 4.1		49.2 \pm 1.1							45.0

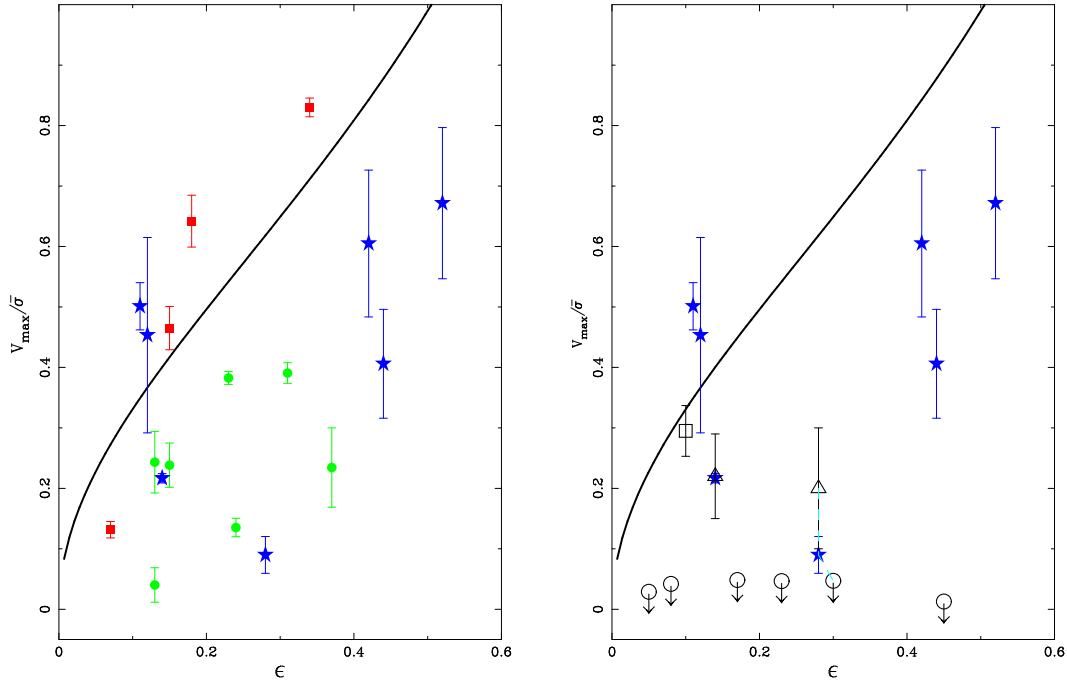


Figura 4.4: Cociente entre la velocidad de rotación máxima y la dispersión de velocidades media frente a la elipticidad. Las galaxias de la muestra están representadas con símbolos rellenos: estrellas azules para las elípticas enanas (dE), círculos verdes para las compactas (cE) y cuadrados rojos para las gigantes (E). Los símbolos abiertos corresponden a otros autores: círculos para Geha et al. (2002), triángulos para Bender y Nieto (1990) y el cuadrado para De Rijcke et al. (2001). Con la línea de trazos se unen los distintos valores correspondientes a IC 794. La línea continua representa las predicciones de Binney (1978) para una galaxia oblonga con distribución isotrópica de las velocidades de sus estrellas y achatada por rotación.

la mayoría de las elípticas enanas de trabajos anteriores rotan demasiado despacio como para ser consistentes con los modelos isotrópicos. Sin embargo, cinco de las siete enanas presentadas en este trabajo están cerca de las predicciones para objetos soportados por rotación. Considerando además que realmente las medidas de V_{\max} pueden ser un límite inferior, dado que en algunos casos como NGC 4431 o UGC 7436 la velocidad de rotación muestra una tendencia ascendente en las partes más externas observadas, tenemos fuertes evidencias para concluir que una buena parte de las dE estudiadas están soportadas por rotación.

Para analizar esta cuestión en más detalle, se ha calculado también (ver tabla 4.1) el parámetro de anisotropía $(v/\sigma)^*$ (Binney 1978) que se puede expresar en función de parámetros observables (Kormendy 1982) como:

$$(v/\sigma)^* = (v/\bar{\sigma})/\sqrt{\epsilon/(1-\epsilon)} \quad (4.1)$$

donde v es la velocidad de rotación y se tomará como tal la V_{\max} medida. Si $(v/\sigma)^* \geq$

1 podemos asumir que la galaxia está aplanada por rotación y, si es significativamente más pequeño, estará soportada por la anisotropía en el campo de velocidades de sus estrellas.

En la figura 4.5 se muestran los valores de $\log (v/\sigma)^*$ frente a la magnitud absoluta. También se incluye la muestra de Bender et al. (1992), con el objeto de poder comparar las propiedades cinemáticas de las dEs con las elípticas gigantes e intermedias. En su estudio del plano fundamental, estos autores resaltan la existencia de galaxias con distribución de velocidades anisotrópicas, tanto en el extremo de las más masivas como entre las galaxias elípticas más pequeñas. Además de confirmar este hecho y ampliar el número de enanas y compactas con nuevas medidas cinemáticas, los resultados que se presentan en la figura 4.5 muestran que, al contrario de lo supuesto anteriormente, las enanas más brillantes tienden a estar soportadas por rotación, extendiendo así el comportamiento de las elípticas gigantes de menor luminosidad hasta el extremo brillante de las menos masivas. Por lo tanto, todos estos datos indican, por un lado, que existe un rango de luminosidades intermedias ($-17 \geq M_B \geq -19$) donde se encuentran las elípticas clásicas de baja luminosidad y las enanas más brillantes, en el que sólo encontramos galaxias que presentan un claro soporte rotacional. Por otro lado, tanto entre las gigantes más luminosas como entre las enanas más débiles, se observa un amplio rango en las propiedades rotacionales. De aquí también podemos concluir que, a diferencia de lo encontrado hasta la fecha, no todas las elípticas enanas están soportadas por la anisotropía en la distribución de velocidades de su población estelar.

Comparando las dos submuestras de enanas y compactas, se aprecia que comparten un rango común en luminosidad total (las compactas se diferencian por tener un menor tamaño y, a la vez, un brillo superficial más alto que las dE). Aunque a la vista de la figura 4.4 las cE parecen presentar una rotación menor que las dE, sus posiciones relativas en la figura 4.5 no indican diferencias significativas en las propiedades dinámicas de las dos submuestras.

4.5. Discusión

Hay que indicar que, con posterioridad a ser publicados los resultados obtenidos en este capítulo (Pedraz et al. 2002), y coincidiendo con la escritura de esta memoria, diversos autores han confirmado la existencia de soporte rotacional en una muestra más amplia de elípticas enanas. Simien y Prugniel (2002) presentan las medidas de parámetros cinemáticos de una muestra de 73 galaxias de primeros tipos, entre las que se encuentran 10 dE que muestran menor anisotropía, de forma similar a las elípticas gigantes más débiles, y mayor soporte rotacional de lo considerado hasta ahora para este tipo de galaxias. Igualmente, Geha et al. (2003) ampliando hasta 17 galaxias su muestra previa de elípticas enanas pertenecientes al cúmulo de Virgo, encuentran que 4 de ellas están soportadas por rotación. Aunque no hallan ninguna relación de la velocidad de rotación con la posición en el Plano Fundamental, la

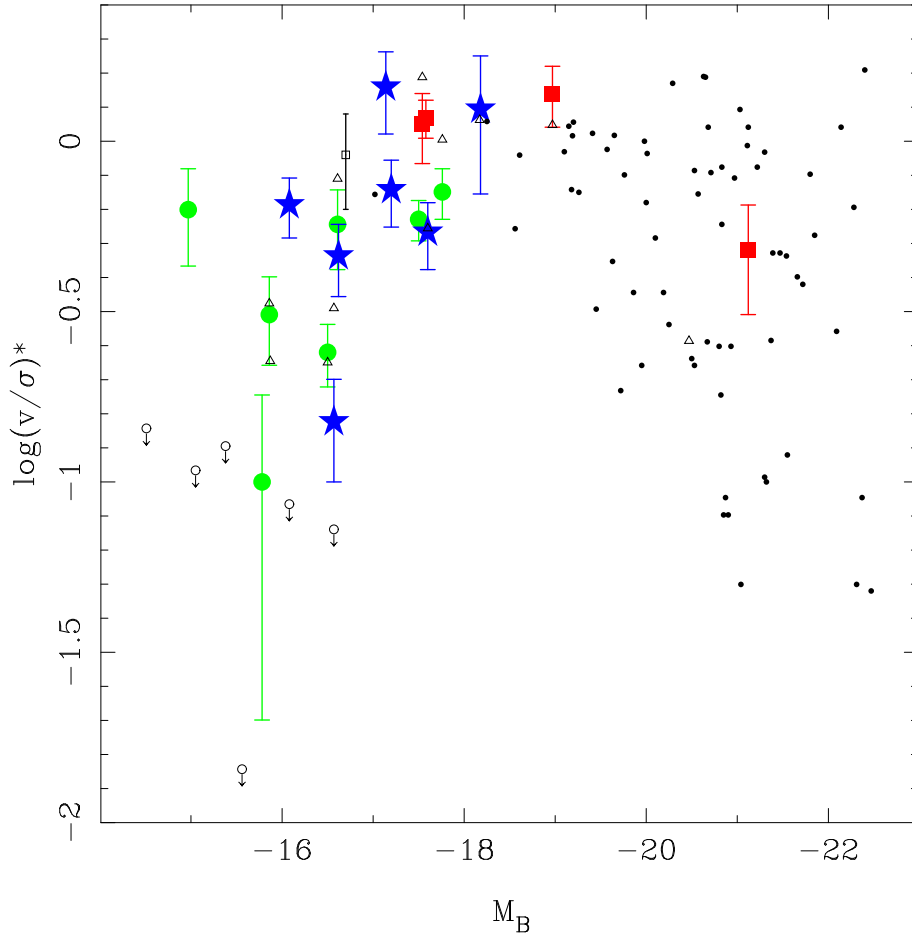


Figura 4.5: Logaritmo del parámetro de anisotropía frente a la magnitud absoluta. Los símbolos son igual que en la figura 4.4. Se muestran también, con puntos, las galaxias elípticas gigantes e intermedias de Bender, Burstein y Faber (1992). Estas últimas se han corregido para $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

presencia de subestructuras o discos subyacentes, la intensidad de líneas de absorción o el entorno en el que se encuentran.

Hay que señalar que Geha et al. (2002) indican que su muestra de 6 dEs sin rotación son ligeramente menos luminosas que las que se presentan en nuestro trabajo. A la vez, estos mismos autores, señalan que ambos grupos de elípticas enanas ocupan zonas en el plano fundamental ligeramente separadas. En concreto, las dEs con rotación tienen mayores valores de los parámetros κ_1 y κ_3 , de donde se desprende que en promedio tienen mayor masa y mayor razón masa/luminosidad. Al mismo tiempo, examinando las posiciones que ocupan ambos subgrupos de dEs (con y sin rotación) en el plano fundamental, quedan claramente diferenciadas de las elípticas gigantes de baja luminosidad, que suelen estar soportadas por rotación.

La búsqueda de correlaciones entre el soporte rotacional y otras propiedades físicas será esencial para evaluar la posible existencia de una dicotomía entre la familia de enanas, similar a la que se encuentra para las gigantes (Ryden et al. 1999) entre rotación, forma de las isofotas y propiedades del núcleo. Sin embargo, a pesar de los nuevos resultados, la muestra aún no es lo suficientemente amplia como para derivar conclusiones firmes acerca de posibles relaciones entre la proporción del soporte rotacional y otros parámetros. Por ejemplo, hay galaxias enanas nucleadas y no nucleadas tanto entre las que no rotan, como entre las que muestran altos valores de rotación. Nótese además que, con la excepción de NGC 5846 A, todas las compactas y enanas estudiadas en este trabajo son miembros del cúmulo de Virgo, por lo que tampoco podemos considerar como afecta el entorno al no tener galaxias de campo.

Especialmente interesante es comparar estas medidas dinámicas con las poblaciones estelares de las galaxias. En el próximo capítulo se aborda este aspecto para una amplia muestra de enanas, pero, de momento, podemos adelantar que la dE más claramente aplanada por anisotropía en la distribución de velocidades (IC 794), es también el objeto más metálico y joven de la muestra. Si se confirma esta relación con más casos, estos resultados apoyarían un escenario en el que nuevos episodios de formación estelar irían unidos a una reducción del soporte rotacional. Esto estaría de acuerdo con la sugerencia de Bender y Nieto (1990), en el sentido de que los vientos de supernova, propiciados por la formación estelar, pueden dar lugar a sistemas anisotrópicos. Igualmente, los modelos de *harassment* de Moore, Lake y Katz (1998) predicen que una parte significativa de las dEs son el resultado de la transformación morfológica de galaxias espirales agregadas al cúmulo, y que este proceso da lugar a galaxias con, simultáneamente poblaciones estelares jóvenes y baja rotación. A la vez, esta posible relación entre edad y rotación iría en el sentido contrario al que se encuentra para las elípticas gigantes, en las que las galaxias que tienen alta rotación muestran isofotas con formas más próximas a un disco (*disky*) y edades más jóvenes (Bender 1988; de Jong y Davies 1997). En cualquier caso, e independientemente de relaciones concretas con otros parámetros, los resultados presentados en este capítulo, hacen patente la diversidad y el amplio rango en las propiedades rotacionales de las galaxias elípticas enanas.

Capítulo 5

Indices centrales

En este capítulo se estudian los índices de intensidad de líneas medidos en las regiones centrales de las galaxias de la muestra. En la primera sección se presentan los datos. En la segunda se analiza la relación de todos los índices medidos con la dispersión de velocidades, para lo cual se transforman a magnitudes los valores de los índices que inicialmente se habían medido en angstroms, haciendo más homogéneo este estudio y facilitando la comparación del comportamiento de las elípticas enanas frente a las gigantes. En la tercera sección se analizan los diagramas índice–índice, igualmente con la intención de estudiar las dEs y compararlas con las Es. Y en la cuarta se obtienen las edades y metalicidades de las poblaciones estelares de las galaxias de la muestra al comparar los índices con las previsiones de los modelos de síntesis de poblaciones estelares. Se analiza tanto la relación de estos dos parámetros entre sí, como la de cada uno de ellos con la dispersión de velocidades. De nuevo, para estudiar si las dEs presentan un comportamiento similar al de las Es. En el último apartado de esta sección se estudia el plano definido por las posiciones de las galaxias elípticas gigantes al representar los tres parámetros, edad, metalicidad y dispersión de velocidades, analizando la localización de las elípticas enanas frente a dicho plano.

5.1. Los datos

Puesto que se dispone de seis campañas de observación distintas, cada una con su correspondiente configuración instrumental, las regiones consideradas como centrales no corresponden a tamaños totalmente idénticos en todos los casos. Así, en las dos primeras el espectro central se refiere a 4.0 segundos de arco, en la tercera a 4.5'', en la cuarta a 3.9'' y en las dos últimas a 2.7''. Puesto que, a excepción de cinco galaxias (cuatro gigantes y una compacta), toda la muestra pertenece al cúmulo de Virgo, consideraremos que los valores de los índices obtenidos en dichas aperturas angulares corresponden a regiones de tamaño físico similar y por tanto son directamente comparables para los propósitos de este trabajo.

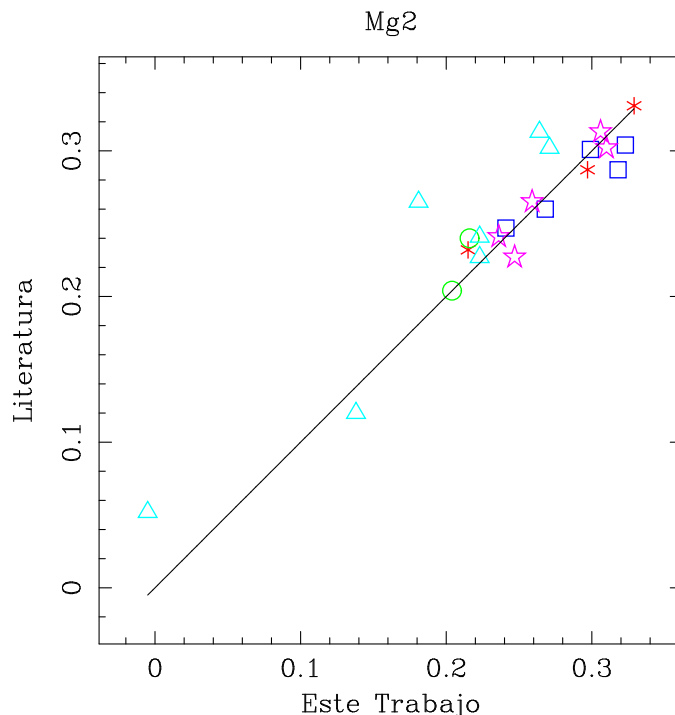


Figura 5.1: Valores del índice Mg_2 obtenidos de la literatura, y promediados con sus errores, para cada galaxia frente a los medidos en cada una de nuestras campañas. Los asteriscos rojos indican los datos para INT94, círculos verdes para Caha96, cuadrados azules para Lick97, triángulos azul-claro para Wyffos96 y estrellas magenta para Wyffos98. La línea continua representa la relación 1:1.

Para cada galaxia se han medido todos los índices del sistema de Lick/IDS incluidos en el rango espectral observado (que variaba entre campañas, ver capítulo 2). Posteriormente, y para las galaxias con observaciones repetidas en varias campañas, se promediaron (pesando con errores) los índices obtenidos en cada campaña. Como evaluación de la homogeneidad entre distintas campañas, se han comparado los valores publicados del índice Mg_2 para galaxias de la muestra con los valores obtenidos en cada campaña. La comparación se muestra en la Figura 5.1, en donde se observa que los valores de Mg_2 de las submuestras de cada campaña no muestran una desviación sistemática respecto a los de otros autores porque tanto los nuestros como los suyos (en general) están puestos en el sistema de Lick (ver sección 3.2.3).

La excepción es la campaña de Wyffos96 (triángulos azules), para la que no se cuenta con observaciones de un número suficiente de estrellas para llevar a cabo este proceso. Además de una desviación sistemática para los valores de los índices medidos en esta campaña, los errores tampoco están bien estimados (se recuerda que la determinación de errores no explicados por el ruido requiere un análisis sobre la muestra de estrellas; ver sección 3.2.2).

Para paliar estas deficiencias, se usaron los datos de la campaña de Wyffos98

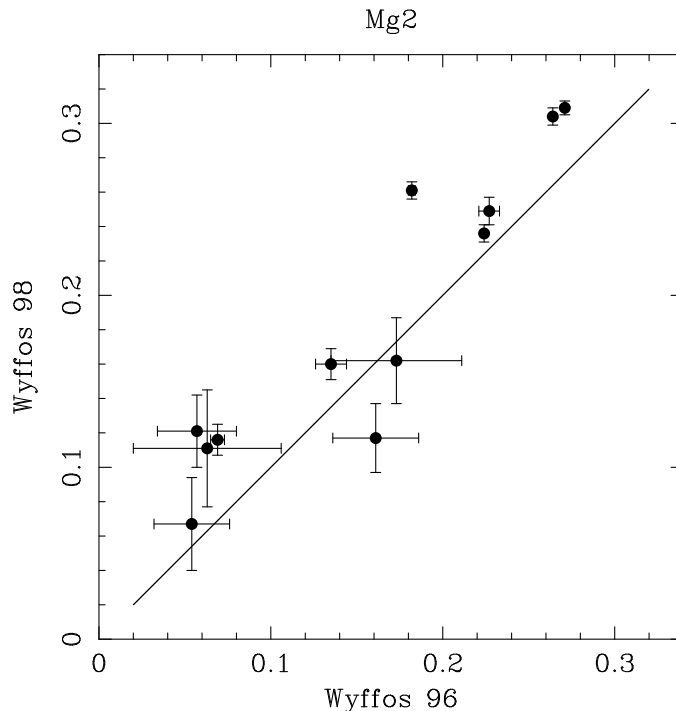


Figura 5.2: Comparación de los valores de Mg_2 obtenidos para las galaxias en común en las dos campañas de Wyffos.

(llevada a cabo con la misma instrumentación) para comparar para cada índice los valores obtenidos para las 12 galaxias en común. De esta forma, dado que los valores de Wyffos98 ya están en el sistema de Lick, se obtuvieron los offset adecuados para aplicarlos a Wyffos96. Además, asumiendo que la dispersión de la comparación viene dada por la suma cuadrática del error típico de cada campaña, y considerando bien estimados los errores en Wyffos98, se calcularon éstos para Wyffos96. A partir de aquí, se modificaron los valores de los errores obtenidos inicialmente para los índices de Wyffos96 (Tabla 5.1). Aunque es posible que para algunos índices los nuevos errores estén algo sobreestimados, en general serán más realistas que los anteriores (estos eran muy pequeños para algunos índices muy estudiados como los de magnesio o hierro). En la figura 5.2 se muestra un ejemplo de esta comparación para Mg_2 , mientras que en la tabla 5.1 se dan los offsets, dispersión en la comparación y errores típicos para todos los índices medidos en estas dos campañas.

En la tabla 5.2 se muestran los índices de intensidad de líneas medidos en las regiones centrales de las galaxias de la muestra completamente corregidos, transformados al sistema de Lick/IDS y promediados cuando se han observado en más de una campaña, así como sus correspondientes errores. También se incluyen la velocidad radial y la dispersión de velocidades obtenidas en el capítulo anterior para las regiones centrales.

Tabla 5.1: Comparación de los índices medidos en las dos campañas de Wyffos. Se muestran las desviaciones sistemáticas (*offset*), y la dispersión (σ_{rms}), el error típico medido en los valores de Wyffos98 y el calculado para Wyffos96 a partir de la dispersión

Índice	offset	σ_{rms}	$\sigma_{\text{tip}}(98)$	$\sigma_{\text{tip}}(96)$
CN1	-0.133	0.149	0.062	0.135
CN2	-0.123	0.156	0.042	0.150
Ca4227	0.153	0.202	0.071	0.189
G4300	0.724	0.647	0.164	0.626
H γ_{A}	-1.717	1.478	0.327	1.442
H γ_{F}	-0.405	1.268	0.127	1.262
Fe4383	0.116	1.014	0.245	0.984
Ca4455	0.353	0.243	0.085	0.228
Fe4531	0.622	0.501	0.164	0.474
Fe4668	0.757	0.402	0.211	0.342
H β	0.291	0.135	0.081	0.108
Fe5015	0.279	0.891	0.277	0.847
Mg ₁	0.027	0.018	0.006	0.017
Mg ₂	0.039	0.023	0.007	0.022
Mgb	0.256	0.341	0.080	0.331
Fe5270	0.271	0.212	0.095	0.190
Fe5335	-0.004	0.380	0.116	0.362
Fe5406	0.196	0.200	0.087	0.180

5.2. Relaciones $I - \sigma_0$

En el estudio de la formación y evolución de las galaxias elípticas una de las relaciones mejor establecidas y más ampliamente analizadas es la correlación existente entre la dispersión de velocidades (σ_0) y la intensidad de las líneas de absorción de MgH y MgI que definen el índice Mg₂ en 5174 Å (ej. Burstein et al. 1988; Guzmán et al. 1992; Bender, Burstein y Faber 1993; Jørgensen et al. 1996; Bender et al. 1998; Colles et al. 1999; Jørgensen 1999; Kuntschner 2000; Mehlert et al. 2003; Worthey y Collobert 2003; Sánchez-Blázquez 2004), ambos medidos en las regiones centrales de las galaxias. Clásicamente, esta relación Mg₂- σ_0 se ha interpretado como una relación entre la masa de la galaxia y su metalicidad, y el que sea tan pequeña la dispersión que presenta la convierte en una herramienta muy útil para poner restricciones a los modelos de formación y evolución de estas galaxias. Más aún si tenemos en cuenta que la relación es independiente de la distancia y que no está afectada por la extinción por polvo (Jørgensen et al. 1996; Bender et al. 1998). El que sea tan pequeña la dispersión en esta relación ha sido interpretado por algunos autores (Bender, Burstein y Faber 1993; Bernardi et al. 1998) como evidencia

Tabla 5.2: Índices medidos en el espectro central de las galaxias de la muestra, transformados al sistema de Lick/IDS y promediados los valores obtenidos en más de una campaña. En la segunda columna se indica el tipo de galaxia elíptica; gigante (g), compacta (c) o enana (d). La velocidad radial y dispersión de velocidades medidas en las regiones centrales se muestran en las columnas tercera y cuarta respectivamente. Para cada galaxia, en la segunda línea se da el error en los índices.

Galaxia	Tipo	V_0 Δ	σ_0 Δ	D4000 Δ	H δ_A Δ	H δ_F Δ	CN ₁ Δ	CN ₂ Δ	C4227 Δ	G4300 Δ
NGC2694	gE	5028.8 1.3	141.8 1.4	2.154 0.180	-2.402 0.151	0.203 0.096	0.084 0.014	0.122 0.014	1.355 0.070	5.100 0.784
NGC3605	gE	636.2 0.5	87.6 0.8							
NGC3641	gE	1752.2 1.1	169.8 1.6	2.366 0.196	-2.089 0.140	0.098 0.098	0.114 0.006	0.156 0.007	1.062 0.063	5.816 0.322
NGC4374	gE	990.3 1.4	287.7 1.6				0.088 0.056	0.138 0.039	1.139 0.046	5.515 0.108
NGC4387	gE	513.4 0.8	89.1 1.4			0.192 0.068	0.046 0.061	0.080 0.040	1.258 0.049	5.632 0.114
NGC4406	gE	-302.6 0.7	232.7 1.1			-0.184 0.060	0.113 0.056	0.163 0.039	1.394 0.044	5.341 0.105
NGC4415	dE	917.0 1.1	42.7 4.2	2.117 0.650	-1.036 1.609	0.584 1.082	-0.034 0.042	-0.012 0.051	1.067 0.715	4.173 1.228
NGC4431	dE	932.6 1.3	41.9 4.9	2.053 0.648	0.827 1.271	1.887 0.861	-0.066 0.034	-0.027 0.041	0.225 0.598	5.407 0.922
NGC4435	gE	744.1 0.8	157.1 1.1		-1.078 0.644	1.071 0.069	0.065 0.061	0.098 0.040	1.228 0.048	4.751 0.118
NGC4436	dE	1100.2 2.5	33.8 15.0						1.708 0.222	5.205 0.659
NGC4464	cE	1233.4 0.7	131.3 0.9	2.174 0.181	-2.102 0.085	0.004 0.066	0.099 0.006	0.138 0.007	1.115 0.037	5.665 0.283
NGC4467	cE	1376.4 1.7	51.5 1.1	2.141 0.179	-2.027 0.171	0.368 0.118	0.084 0.008	0.128 0.009	1.058 0.081	5.217 0.311
NGC4486B	cE	1537.3 0.8	189.0 1.1	2.386 0.198	-2.768 0.084	-0.146 0.061	0.140 0.005	0.185 0.007	1.233 0.032	5.733 0.297
NGC4489	dE	961.3 0.7	51.1 1.8	2.371 0.646	-0.500 0.481	0.576 0.331	0.006 0.013	0.028 0.016	1.333 0.213	5.186 0.362
NGC4515	dE	946.8 0.5	77.6 0.8							
NGC5846A	cE	2222.1 1.5	192.8 2.1	2.147 0.171	-1.953 0.229	0.073 0.155	0.099 0.007	0.139 0.009	1.290 0.106	5.570 0.324
NGC5846	gE	1709.6 2.3	249.3 2.4	2.678 0.649	-2.468 0.932	-0.976 0.648	0.083 0.024	0.121 0.029	0.964 0.392	4.949 0.631
IC767	cE	1878.9 1.0	30.1 2.6	1.718 0.137	1.966 0.373	2.209 0.259	-0.055 0.011	-0.025 0.013	0.725 0.186	3.405 0.339
IC794	dE	1916.1 1.4	42.8 3.1	2.181 0.660	-4.357 2.617	-1.422 1.749	0.090 0.059	0.112 0.069	1.546 0.213	6.122 0.611
IC3303	dE	-387.1 7.1	43.9 12.2			2.797 0.163	-0.065 0.056	0.003 0.040	0.322 0.111	2.106 0.239
IC3331	dE	1191.3 36.1					-0.106 0.136	-0.046 0.152	1.101 0.354	2.409 0.863
IC3363	dE	777.1 15.8					-0.077 0.136	-0.011 0.152	1.094 0.346	4.041 0.814
IC3393	dE	470.9 2.3	25.0 7.6							
IC3443	dE	1726.0 4.6	51.3 15.5				-0.068 0.135	-0.024 0.150	1.042 0.234	6.033 0.669
IC3457	dE	1278.1 49.3					0.439 0.213	0.650 0.225	3.395 1.113	3.723 1.879
IC3475	dE	2214.8 71.1			2.185 1.102	3.324 0.699	-0.174 0.138	-0.157 0.154	0.679 0.519	5.211 1.096
IC3492	dE	-569.2 103.6	84.6 15.2		6.411 0.194	5.145 0.164	-0.263 0.135	-0.201 0.152	0.365 0.221	0.205 0.816
UGC7436	dE	988.0 2.2	35.0 4.1							

Tabla 5.2: (continuación)

Nombre	Tipo	V_0 Δ	σ_0 Δ	D4000 Δ	H δ_A Δ	H δ_F Δ	CN ₁ Δ	CN ₂ Δ	Ca4227 Δ	G4300 Δ
VCC753	dE	790.0 87.4							0.393 1.577	18.655 4.245
VCC765	dE	916.1 43.8					-0.132 0.138	-0.082 0.154	0.867 0.536	4.889 1.062
VCC779	dE	-253.8 37.0				1.774 0.912	-0.058 0.072	0.197 0.058	2.160 0.670	9.624 1.366
VCC810	dE	-470.8 89.1				2.389 0.736	0.256 0.073	0.436 0.059	2.941 0.628	0.398 1.318
VCC815	dE	-725.7 76.0					-0.409 0.068	-0.163 0.048	-0.652 0.294	2.559 0.597
VCC823	dE	1682.8 14.2	82.8 37.1						0.494 0.398	4.322 0.866
VCC832	dE	1172.9 330.4							-1.250 3.588	-9.206 6.286
VCC833	dE	715.4 48.3			-1.143 0.950	0.624 0.478	-0.087 0.060	-0.093 0.045	0.152 0.327	4.025 0.635
VCC838	dE	-711.8 178.3			3.200 5.683	-0.081 4.257	-0.002 0.085	0.389 0.081	2.156 0.966	6.947 1.486
VCC844	dE	25.4 1.6	33.5 5.0			-0.256 0.176	-0.043 0.061	0.008 0.041	4.650 0.131	3.928 0.250
VCC846	dE	-549.2 13.4			3.347 0.747	-0.230 0.316	-0.020 0.057	0.047 0.042	1.062 0.230	3.790 0.447
VCC854	dE	550.9 60.4			5.915 1.046	4.274 0.568	-0.183 0.060	-0.168 0.048	1.261 0.381	1.343 0.744
VCC871	dE	1360.6 43.7			0.027 1.048	0.362 0.631	-0.197 0.060	-0.186 0.046	0.574 0.357	4.994 0.674
VCC872	dE	1226.3 88.9			2.371 0.723	0.858 0.249	-0.063 0.062	-0.032 0.042	0.201 0.186	2.556 0.352
VCC882	dE	944.5 6.5	34.7 22.5		0.104 0.685	0.617 0.173	0.006 0.056	0.014 0.040	0.640 0.131	3.055 0.262
VCC903	dE	824.2 43.7			0.209 1.174	3.823 0.572	-0.143 0.066	-0.174 0.051	0.025 0.525	-1.030 1.008
VCC916	dE	1293.3 2.1	48.9 8.6				0.041 0.056	0.073 0.040	1.455 0.104	5.545 0.202
VCC996	dE	-63.2 30.1			19.634 0.830	8.061 0.308	-0.178 0.063	-0.058 0.044	2.999 0.218	-4.382 0.580
VCC1035	dE	115.0 197.5					-0.202 0.136	-0.153 0.152	0.553 0.324	1.924 0.762
VCC1040	dE	-380.5 20.7			-17.230 1.500	0.205 0.250	-0.011 0.062	0.019 0.042	1.455 0.208	3.515 0.427
VCC1059	dE	1994.4 575.4							0.367 0.939	6.392 3.043
VCC1148	cE	1423.8 1.3	30.5 3.2	2.116 0.178	-2.344 0.324	0.076 0.216	0.088 0.011	0.139 0.012	0.998 0.156	4.861 0.409
VCC1353	dE	-467.7 249.5					-0.431 0.193	-0.528 0.210	1.501 4.849	-1.560 3.871
VCC1389	dE	868.0 22.1					0.142 0.148	0.248 0.163	0.966 0.749	3.432 1.338
VCC1414	dE	174.6 28.4					-0.098 0.137	-0.058 0.152	0.964 0.414	3.672 0.896
VCC1491	dE	1946.1 3.7	72.7 9.7		0.173 0.291	1.126 0.201	-0.141 0.135	-0.101 0.150	1.299 0.234	5.170 0.672
VCC1539	dE	1470.5 145.0							0.859 1.116	4.365 1.514
VCC1627	cE	290.4 0.9	39.3 1.8	2.086 0.176	-1.751 0.176	0.225 0.123	0.030 0.008	0.066 0.010	1.303 0.082	5.458 0.266

Tabla 5.2: (continuación)

Nombre	Tipo	H γ_A	H γ_F	Fe4383	Ca4455	Fe4531	Fe4668	H β	Fe5015
		Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
NGC2694	g	-4.828	-1.551			1.747	1.196	1.639	4.839
		0.265	0.270			0.259	0.742	0.116	0.237
NGC3605	g							2.082	4.922
								0.127	0.488
NGC3641	g	-8.265	-2.059				7.492	1.399	4.244
		2.854	0.676				0.878	0.108	0.196
NGC4374	g	-6.123	-1.703	5.226	1.900	3.593	6.415	1.419	4.956
		0.246	0.087	0.163	0.059	0.105	0.125	0.046	0.183
NGC4387	g	-6.121	-1.500	5.346	1.737	3.684	5.924	1.585	5.186
		0.251	0.092	0.172	0.057	0.113	0.145	0.056	0.193
NGC4406	g	-6.172	-1.606	5.506	1.756	3.560	7.229	1.234	5.455
		0.244	0.086	0.160	0.054	0.103	0.120	0.044	0.173
NGC4415	d	-4.861	-0.914					1.889	4.538
		1.292	0.784					0.195	0.412
NGC4431	d	-2.705	0.000					1.814	4.387
		1.017	0.624					0.195	0.415
NGC4435	g	-3.432	0.167	5.262	1.572	3.459	7.008	1.657	4.805
		0.250	0.090	0.168	0.048	0.107	0.130	0.048	0.176
NGC4436	d	-5.095	0.011	6.470	1.722	3.715	5.457	2.500	5.554
		1.459	1.269	1.015	0.264	0.512	0.440	0.153	0.874
NGC4464	c	-7.795	-1.776				5.616	1.694	4.801
		2.299	0.371				0.942	0.102	0.228
NGC4467	c	-6.958	-1.854				6.445	1.541	4.324
		2.485	0.511				0.923	0.124	0.254
NGC4486B	c	-8.350	-2.393				7.421	1.596	4.934
		2.686	0.584				0.888	0.100	0.191
NGC4489	d	-4.605	-0.244					2.306	5.813
		0.409	0.242					0.094	0.222
NGC4515	d							1.846	4.065
								0.128	0.489
NGC5846A	c	-6.478	-2.041				5.448	1.458	4.970
		3.040	0.562				0.869	0.068	0.154
NGC5846	g		-1.689					1.088	5.366
			0.427					0.078	0.203
IC767	c	-1.833	1.221				8.551	2.784	3.718
		2.675	0.235				1.184	0.105	0.243
IC794	d	-5.829	-0.790	4.092	1.337	4.682	6.676	2.417	4.991
		1.459	0.869	1.019	0.266	0.512	0.447	0.127	0.397
IC3303	d	2.396	2.507	-0.433	1.036	2.294	2.496	2.461	3.293
		0.332	0.168	0.408	0.164	0.276	0.369	0.149	0.476
IC3331	d	2.293	3.506	2.432	0.861	4.226	1.233	2.715	3.681
		1.547	1.306	1.242	0.450	0.717	0.910	0.362	1.086
IC3363	d	-0.119	2.392	3.733	1.809	2.864	1.991	2.474	3.456
		1.537	1.305	1.217	0.426	0.725	0.870	0.321	1.050
IC3393	d							2.099	4.722
								0.226	0.473
IC3443	d	-4.586	-0.004	2.492	1.061	3.687	2.959	2.833	5.299
		1.467	1.272	1.042	0.288	0.537	0.515	0.181	0.903
IC3457	d	-0.119	7.288	9.276	1.088	2.549	4.254	2.528	1.918
		2.112	1.549	1.747	0.835	1.132	1.260	0.511	1.234
IC3475	d	-4.461	-0.339	4.651	2.036	3.388	5.384	2.384	1.936
		1.750	1.400	1.610	0.800	1.008	1.370	0.522	1.376
IC3492	d	5.494	4.942	-0.362	0.479	1.509	1.252	5.093	1.341
		1.447	1.264	1.009	0.278	0.527	0.477	0.140	0.920
UGC7436	d							2.019	4.212
								0.238	0.501

Tabla 5.2: (continuación)

Nombre	Tipo	$H\gamma_A$ Δ	$H\gamma_F$ Δ	Fe4383 Δ	Ca4455 Δ	Fe4531 Δ	Fe4668 Δ	$H\beta$ Δ	Fe5015 Δ
VCC753	d	-28.013 8.448	1.615 3.235	-2.082 7.790	0.301 6.798	13.394 3.798	9.621 7.027	3.890 2.817	0.644 7.929
VCC765	d	-1.081 1.699	1.778 1.379	2.778 1.516	0.110 0.637	4.401 0.944	0.617 1.337	0.727 0.558	2.348 1.348
VCC779	d	-9.956 2.001	3.944 0.915	21.978 1.481	-0.260 1.259	3.512 1.625	-9.257 3.978	5.452 1.261	17.011 2.843
VCC810	d	-0.392 1.284	2.221 0.783	8.249 1.791	8.957 0.746	4.899 1.435	-4.026 2.855	3.274 1.188	10.955 3.048
VCC815	d	0.326 0.684	0.919 0.410	2.424 1.055	0.484 0.587	-1.588 1.098	3.126 1.777	4.021 0.868	3.413 2.169
VCC823	d	-1.511 1.571	1.043 1.321	3.029 1.286	0.296 0.482	3.397 0.754	1.675 0.953	2.839 0.344	5.093 1.091
VCC832	d	9.133 4.969	5.722 10.812	-0.232 26.529	2.548 3.934	19.530 15.217	6.345 17.089	-1.619 3.139	-6.323 2.964
VCC833	d	-2.915 0.778	-1.558 0.505	0.691 1.052	0.973 0.542	1.274 0.855	4.524 1.365	2.531 0.598	3.282 1.481
VCC838	d	6.173 1.469	0.225 1.096	6.639 2.796	-2.674 1.607	-2.349 2.019	2.530 2.354	1.515 0.851	0.637 2.766
VCC844	d	-7.022 0.357	-2.564 0.178	4.507 0.353	1.772 0.187	5.355 0.243	-0.606 0.417	-1.223 0.202	4.445 0.481
VCC846	d	-3.912 0.512	0.574 0.320	7.102 0.688	-0.248 0.414	0.073 0.678	-0.248 1.114	1.868 0.514	3.206 1.211
VCC854	d	-0.229 0.829	1.650 0.543	2.726 1.137	1.715 0.603	0.900 1.021	-1.173 1.515	2.527 0.622	4.149 1.579
VCC871	d	-2.390 0.823	0.139 0.536	0.954 1.080	1.747 0.539	3.136 0.770	0.225 1.218	1.819 0.491	5.953 1.115
VCC872	d	-0.993 0.433	0.150 0.251	0.434 0.533	1.351 0.260	1.528 0.441	1.017 0.710	1.215 0.316	2.431 0.780
VCC882	d	-3.126 0.363	-1.017 0.198	3.120 0.390	1.243 0.186	1.803 0.312	3.212 0.470	1.437 0.204	3.796 0.521
VCC903	d	-0.740 1.101	0.504 0.726	5.856 1.519	1.134 0.853	-2.275 1.655	-0.257 2.359	1.207 1.004	0.670 2.597
VCC916	d	-6.066 0.329	-1.777 0.165	5.342 0.302	1.583 0.145	3.667 0.231	6.517 0.335	1.853 0.146	5.848 0.385
VCC996	d	2.730 0.465	5.094 0.248	4.686 0.828	6.411 0.324	-6.946 1.076	6.418 1.870	11.344 0.703	14.285 1.778
VCC1035	d	2.804 1.487	2.671 1.279	-0.514 1.100	0.828 0.358	1.799 0.642	-0.422 0.617	3.024 0.256	2.366 1.171
VCC1040	d	-2.379 0.528	0.976 0.290	6.057 0.658	1.654 0.367	1.214 0.618	0.418 1.055	1.320 0.482	3.033 1.152
VCC1059	d	-3.853 2.533	-0.414 2.426	1.704 5.052	1.406 1.315	1.252 3.095	3.916 7.962	4.535 2.318	6.291 3.112
VCC1148	c	-7.421 2.520	-2.359 0.571				9.206 0.963	1.832 0.170	3.968 0.356
VCC1353	d	5.120 3.610	0.973 2.395	-8.115 5.026	1.244 1.930	2.863 1.266	4.095 1.842	2.593 0.792	3.080 2.731
VCC1389	d	5.720 1.787	6.345 1.431	2.930 1.732	0.320 0.693	2.387 0.993	5.495 1.138	1.181 0.424	1.055 1.183
VCC1414	d	-1.499 1.589	1.197 1.327	4.267 1.298	0.978 0.512	2.601 0.821	1.633 1.036	1.387 0.382	2.179 1.143
VCC1491	d	-5.393 1.468	-0.588 1.272	4.253 1.039	0.947 0.290	3.427 0.534	4.595 0.500	2.926 0.178	4.169 0.898
VCC1539	d	-4.394 1.687	-0.846 1.402	3.688 3.943	1.187 2.928	2.274 2.155	4.877 3.172	3.419 2.003	6.400 4.499
VCC1627	c	-6.048 0.945	-1.319 0.203				7.071 1.097	1.890 0.137	5.645 0.339

Tabla 5.2: (continuación)

Nombre	Tipo	Mg ₁ Δ	Mg ₂ Δ	Mgb Δ	Fe5270 Δ	Fe5335 Δ	Fe5406 Δ	Fe5709 Δ	Fe5782 Δ	Na5895 Δ
NGC2694	g	0.127	0.259	4.253	3.551	2.987	1.919			
		0.021	0.014	0.108	0.183	0.179	0.125			
NGC3605	g	0.079	0.216	3.684	3.136	2.769	1.845			
		0.015	0.012	0.100	0.109	0.123	0.177			
NGC3641	g	0.157	0.299	4.630	3.217	2.384	1.639	0.605		
		0.023	0.024	0.098	0.153	0.181	0.119	0.641		
NGC4374	g	0.152	0.306	4.909	2.844	2.540	1.880			
		0.005	0.005	0.052	0.061	0.080	0.603			
NGC4387	g	0.114	0.257	4.052	2.889	2.410	1.773			
		0.005	0.005	0.065	0.072	0.086	0.064			
NGC4406	g	0.153	0.310	4.958	3.036	2.624	1.863			
		0.004	0.004	0.044	0.051	0.062	0.046			
NGC4415	d	0.076	0.183	2.905	2.599	2.005	1.368	1.114	0.620	1.577
		0.014	0.012	0.186	0.193	0.207	0.156	0.114	0.104	0.137
NGC4431	d	0.075	0.184	2.713	2.150	2.049	1.705	1.105	0.656	1.997
		0.014	0.012	0.189	0.198	0.210	0.155	0.116	0.107	0.141
NGC4435	g	0.097	0.237	3.999	2.695	2.486	1.617			
		0.005	0.005	0.049	0.056	0.068	0.049			
NGC4436	d	0.016	0.148	2.998	2.921	2.570	1.866			
		0.017	0.022	0.347	0.222	0.383	0.204			
NGC4464	c	0.114	0.241	4.150	3.233	2.363	1.587	0.897		
		0.021	0.023	0.092	0.152	0.174	0.116	0.641		
NGC4467	c	0.135	0.268	4.190	3.352	2.580	1.705	0.839		
		0.022	0.023	0.113	0.166	0.191	0.129	0.643		
NGC4486B	c	0.172	0.323	5.017	3.641	2.586	1.788	0.748		
		0.022	0.024	0.090	0.149	0.174	0.115	0.641		
NGC4489	d	0.089	0.215	3.407	2.902	2.593	1.633	1.199	0.780	2.599
		0.013	0.011	0.103	0.097	0.097	0.075	0.055	0.049	0.070
NGC4515	d	0.073	0.204	3.587	2.744	2.242	1.524			
		0.015	0.011	0.100	0.111	0.127	0.180			
NGC5846A	c	0.164	0.301	4.671	2.919	2.614	1.781	0.791	0.866	4.746
		0.010	0.011	0.075	0.078	0.076	0.058	0.048	0.042	0.062
NGC5846	g	0.174	0.329	5.146	3.020	2.836	1.910	1.045	0.949	5.450
		0.009	0.008	0.086	0.086	0.090	0.068	0.048	0.045	0.055
IC767	c	0.056	0.138	2.020	2.277	1.864	1.333	0.965	0.559	1.492
		0.011	0.010	0.112	0.113	0.117	0.089	0.071	0.064	0.090
IC794	d	0.085	0.216	3.290	3.173	2.690	1.691	1.170	0.698	2.593
		0.010	0.011	0.176	0.156	0.194	0.132	0.125	0.114	0.148
IC3303	d	0.034	0.113	1.367	2.003	1.456	0.923			
		0.007	0.008	0.237	0.213	0.295	0.193			
IC3331	d	0.021	0.067	1.660	2.105	2.394	1.237			
		0.019	0.023	0.511	0.444	0.588	0.381			
IC3363	d	0.037	0.097	1.734	1.920	1.824	1.332			
		0.019	0.023	0.453	0.389	0.522	0.340			
IC3393	d	0.061	0.142	1.815	2.441	1.740	1.310	0.729	0.383	1.771
		0.015	0.012	0.221	0.227	0.249	0.184	0.141	0.130	0.166
IC3443	d	0.073	0.177	3.377	2.977	1.749	1.156			
		0.018	0.022	0.365	0.255	0.411	0.234			
IC3457	d	-0.049	0.054	2.124	1.714	0.749	1.397			
		0.020	0.024	0.543	0.538	0.677	0.471			
IC3475	d	0.128	0.177	2.325	2.588	2.173	1.025			
		0.021	0.026	0.656	0.623	0.819	0.631			
IC3492	d	0.023	0.074	1.115	1.186	1.035	1.019			
		0.017	0.022	0.345	0.233	0.414	0.222			
UGC7436	d	0.054	0.158	2.642	2.027	1.945	1.025	0.825	0.491	0.587
		0.014	0.013	0.226	0.241	0.259	0.194	0.145	0.134	0.181

Tabla 5.2: (continuación)

Nombre	Tipo	Mg ₁ Δ	Mg ₂ Δ	Mgb Δ	Fe5270 Δ	Fe5335 Δ	Fe5406 Δ	Fe5709 Δ
VCC753	d	0.436	0.370	3.863	-1.468	-3.708	-4.943	
		0.079	0.091	3.554	4.204	5.010	3.669	
VCC765	d	0.053	0.115	1.568	2.357	1.587	1.201	
		0.021	0.025	0.613	0.612	0.731	0.495	
VCC779	d	0.014	0.071	2.545	0.564	2.862	3.060	
		0.036	0.046	1.892	2.505	3.265	2.270	
VCC810	d	0.039	0.204	1.359	1.163	5.556	1.326	
		0.033	0.045	1.954	2.256	2.553	2.275	
VCC815	d	0.019	0.059	0.089	1.123	0.695	-0.090	
		0.025	0.031	1.296	1.501	1.821	1.365	
VCC823	d	0.044	0.105	2.658	3.002	1.029	1.394	
		0.019	0.023	0.469	0.411	0.563	0.366	
VCC832	d	0.059	0.125	0.290	1.789	-2.065	0.358	
		0.027	0.039	1.640	1.699	2.626	1.010	
VCC833	d	0.104	0.170	2.378	1.620	0.471	0.531	
		0.017	0.022	0.834	0.950	1.044	0.859	
VCC838	d	0.113	0.108	0.710	1.013	-0.295	1.081	
		0.021	0.029	1.415	1.306	1.835	1.204	
VCC844	d	0.387	0.488	4.589	3.603	3.612	2.421	
		0.007	0.009	0.248	0.235	0.266	0.199	
VCC846	d	0.043	0.113	2.389	2.359	2.419	-0.072	
		0.014	0.018	0.619	0.689	0.847	0.706	
VCC854	d	0.078	0.077	-1.144	2.195	1.793	0.823	
		0.017	0.020	0.836	0.827	0.959	0.718	
VCC871	d	0.101	0.137	0.936	1.021	1.744	0.402	
		0.013	0.017	0.656	0.684	0.792	0.629	
VCC872	d	0.107	0.116	1.069	0.616	0.905	0.952	
		0.010	0.012	0.427	0.490	0.573	0.434	
VCC882	d	0.076	0.161	1.803	1.132	0.955	0.890	
		0.007	0.008	0.269	0.282	0.341	0.245	
VCC903	d	0.131	0.142	2.195	1.950	-0.622	1.022	
		0.029	0.037	1.418	1.658	2.064	1.455	
VCC916	d	0.104	0.249	3.903	3.457	2.804	1.997	
		0.007	0.008	0.190	0.190	0.236	0.171	
VCC996	d	0.113	0.184	3.795	7.219	-4.012	1.601	
		0.025	0.030	1.110	1.023	2.029	1.257	
VCC1035	d	0.032	0.085	1.123	1.702	1.117	0.723	
		0.018	0.023	0.535	0.374	0.528	0.345	
VCC1040	d	0.030	0.089	2.444	2.437	1.460	1.525	
		0.013	0.017	0.603	0.717	0.861	0.641	
VCC1059	d	0.035	0.145	2.353	0.693	1.825	-0.179	
		0.035	0.037	1.688	0.964	2.243	1.351	
VCC1148	c	0.143	0.294	4.317	3.294	2.278	1.584	0.920
		0.022	0.023	0.155	0.199	0.227	0.159	0.648
VCC1353	d	-0.017	0.049	1.937	1.124	1.795	1.179	
		0.023	0.025	0.637	0.865	1.451	1.600	
VCC1389	d	-0.023	0.034	2.025	2.546	0.553	0.618	
		0.019	0.023	0.493	0.442	0.596	0.399	
VCC1414	d	0.034	0.085	0.964	1.350	1.683	1.062	
		0.019	0.023	0.502	0.450	0.580	0.400	
VCC1491	d	0.054	0.197	3.422	3.464	2.059	2.018	
		0.018	0.022	0.363	0.251	0.407	0.229	
VCC1539	d	0.050	0.181	3.480	1.977	1.932	1.479	
		0.022	0.045	3.309	2.429	2.638	2.269	
VCC1627	c	0.099	0.220	3.432	2.796	2.551	1.690	0.929
		0.016	0.021	0.127	0.182	0.197	0.137	0.644

de la similitud en las edades de las elípticas, a diferencia de lo encontrado en otros trabajos (González 1993; Trager et al. 1998; Sánchez-Blázquez 2004). Ahora bien, las desviaciones de la relación también se pueden cancelar parcialmente debido a que la edad y la metalicidad tienen efectos similares en la intensidad del Mg_2 (Worthey et al. 1996; Trager 1997; Pedraz et al. 1998; Jørgensen 1999; Kuntschner et al. 2001). Como los residuos de esta relación son mayores que los errores observacionales, se han buscado posibles correlaciones con parámetros estructurales como el radio efectivo, brillo superficial o masa de la galaxia, pero siempre con resultados negativos (Bender, Burstein y Faber 1993). Tan solo González y Gorgas (1996) encuentran una correlación positiva de los residuos de la relación con los gradientes de Mg_2 y una correlación negativa con el índice $H\beta$, sugiriendo que episodios recientes de formación estelar en las partes centrales de las galaxias podrían justificar, al menos parcialmente, la dispersión observada. Si esta formación estelar estuviera provocada por interacciones con otras galaxias, además explicaría la relación que encuentran Schweizer et al. (1990) entre los residuos de la relación e indicadores de interacciones recientes como conchas, ondas, chorros de materia luminosa, estructura en rayos X y las desviaciones de las isofotas respecto de una elipse.

Hasta muy recientemente (Sánchez-Blázquez 2004) la mayoría de los estudios se han dedicado casi exclusivamente a la relación de la dispersión de velocidades central con el índice Mg_2 porque otros índices metálicos han mostrado correlaciones muy débiles con una gran dispersión. Una excepción es Kuntschner (2000) que encuentra correlación entre el índice $\langle Fe \rangle$ y σ_0 para las elípticas del cúmulo de Fornax. En esta sección se aborda el análisis de posibles relaciones de σ_0 también con los demás índices medidos, con diferentes sensibilidades a la edad, la metalicidad o abundancias relativas entre elementos. Al incluir las elípticas enanas de la muestra se puede estudiar la variación de las relaciones al aumentar el rango en masas. Analizando si las dE son una extrapolación de las elípticas gigantes hacia valores menores de masa o luminosidad, o si por el contrario las relaciones $I-\sigma_0$ cambian significativamente al incluir las dE.

Antes de analizar las relaciones de los índices con σ_0 y con el objetivo de hacer directamente comparables los diferentes índices medidos entre sí, en este trabajo se ha optado por medirlos todos en magnitudes (ver Colles et al. 1999 y Kuntschner 2000). De los índices utilizados en este trabajo, tan solo CN_1 , CN_2 , Mg_1 y Mg_2 estaban originalmente definidos en magnitudes en el sistema de Lick. Todos los demás índices (I) de la tabla 5.2 se han transformado en magnitudes (I') usando:

$$I' = -2,5 \log \left(1 - \frac{I}{\Delta\lambda} \right) \quad (5.1)$$

de forma que el error en magnitudes, se calcula como:

$$\Delta I' = \frac{2,5}{\Delta\lambda \ln 10} \frac{\Delta I}{\left(1 - \frac{I}{\Delta\lambda} \right)} \quad (5.2)$$

Con el fin de minimizar errores y agrupar en índices únicos aquellos que incluyen a elementos similares se han definido los siguientes índices compuestos:

$$\begin{aligned} \text{Fe2} &= (\text{Fe5270} + \text{Fe5335}) / 2 \\ \text{Fe3} &= (\text{Fe4383} + \text{Fe5270} + \text{Fe5335}) / 3 \\ \text{Fe4} &= (\text{Fe4383} + \text{Fe5270} + \text{Fe5335} + \text{Fe5406}) / 4 \\ \text{Fe5} &= (\text{Ca4455} + \text{Fe4531} + \text{Fe5015}) / 3 \end{aligned}$$

Tal y como se describe en la tabla 1 de Worthey 1998, en las características espectrales incluidas en Fe2, Fe3 y Fe4 el elemento dominante es el Fe, mientras que los tres índices que se agrupan en Fe5 dependen de elementos α .

Puesto que no tiene sentido hacer una media directamente de valores medidos en magnitudes, los índices compuestos se calculan como:

$$I' = -2,5 \log \left(\frac{10^{-0,4 I'_1} + 10^{-0,4 I'_2}}{2} \right) \quad (5.3)$$

o de forma general:

$$I' = -2,5 \log \left(1 - \frac{1}{n} \left(\frac{I_1}{\Delta \lambda_1} + \dots + \frac{I_n}{\Delta \lambda_n} \right) \right) \quad (5.4)$$

$$\Delta I' = \frac{2,5}{\ln 10} \frac{1}{n} \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{n} \left(\frac{I_1}{\Delta \lambda_1} + \dots + \frac{I_n}{\Delta \lambda_n} \right) \right)} \sqrt{\frac{\Delta I_1^2}{\Delta \lambda_1^2} + \dots + \frac{\Delta I_n^2}{\Delta \lambda_n^2}} \quad (5.5)$$

En las figuras 5.3 se representan los índices medidos en las regiones centrales de las galaxias frente a la dispersión de velocidades. Al igual que en el capítulo anterior, la muestra se ha separado en tres tipos de galaxias: las elípticas gigantes (identificadas con cuadrados rojos), las compactas (con círculos verdes) y las enanas (con estrellas azules). Además de los datos de este trabajo, y con el fin de poder comparar mejor estos con las gigantes elípticas, se representan también otras tres muestras: la muestra de Trager (1998), identificada por puntos, incluye 381 galaxias. Es relativamente homogénea, por haberse observado con la misma configuración instrumental, y los índices medidos corresponden a los cuatro segundos de arco centrales. La señal/ruido de esta muestra es, en general, pobre. La muestra de González (1993), identificada con cuadrados huecos, incluye a 40 galaxias en las que se han medido los índices en los cinco segundos de arco centrales con muy alta relación señal/ruido. Por último, la muestra de Kuntschner (2001), con triángulos huecos, consta de 72 galaxias, casi todas de cúmulos (principalmente Coma y Virgo), y en las que los índices se han medido en los 3.4 segundos de arco centrales.

Tal y como se aprecia en estas gráficas, la muestra de Trager, además de ser más amplia en número de galaxias, también cuenta con un mayor número de índices

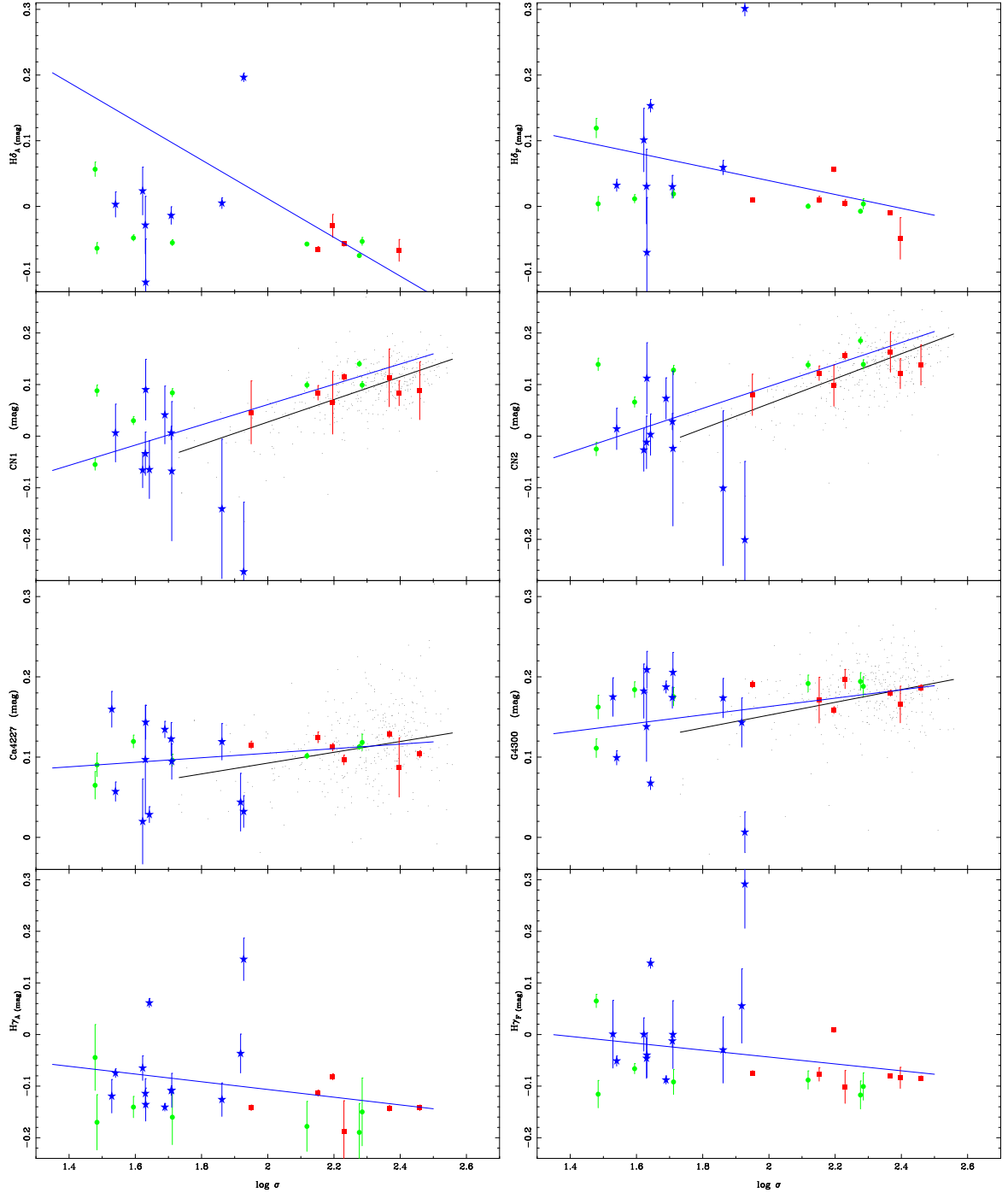


Figura 5.3: Valores de los índices (en magnitudes) frente al logaritmo de la dispersión de velocidades, ambos medidos en las regiones centrales de las galaxias. Los puntos representan la muestra de Trager (1998), los cuadrados y los triángulos abiertos son las muestras de González (1993) y Kuntschner (2001) respectivamente; todas ellas compuestas de galaxias elípticas. Con las rectas negras se indica el ajuste lineal a la muestra de Trager. Con símbolos rellenos se representa la muestra de este trabajo: cuadrados rojos para las galaxias gigantes, círculos verdes para las compactas y estrellas azules para las enanas. Las rectas azules representan el ajuste a las gigantes y enanas de esta muestra.

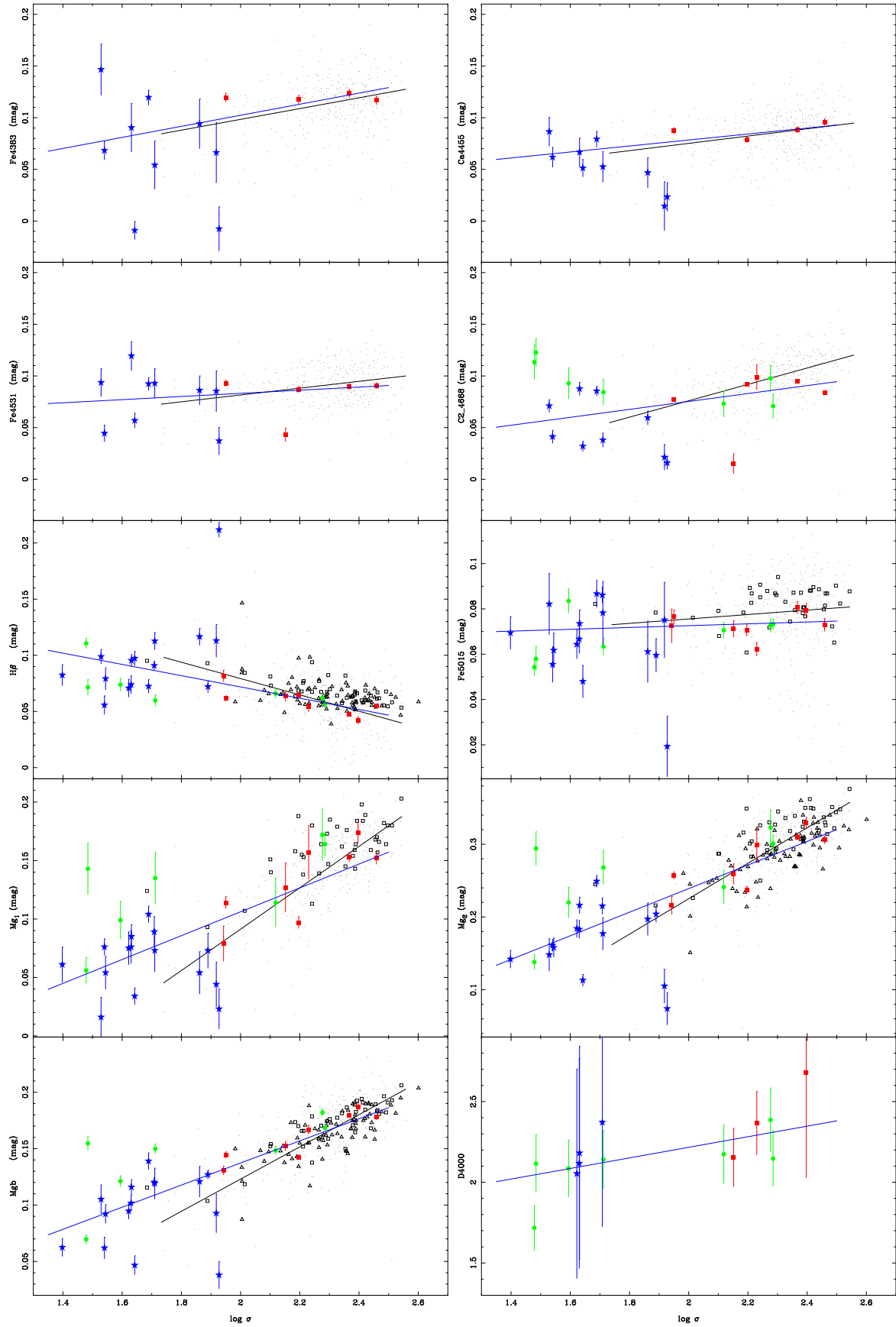


Figura 5.3: (continuación)

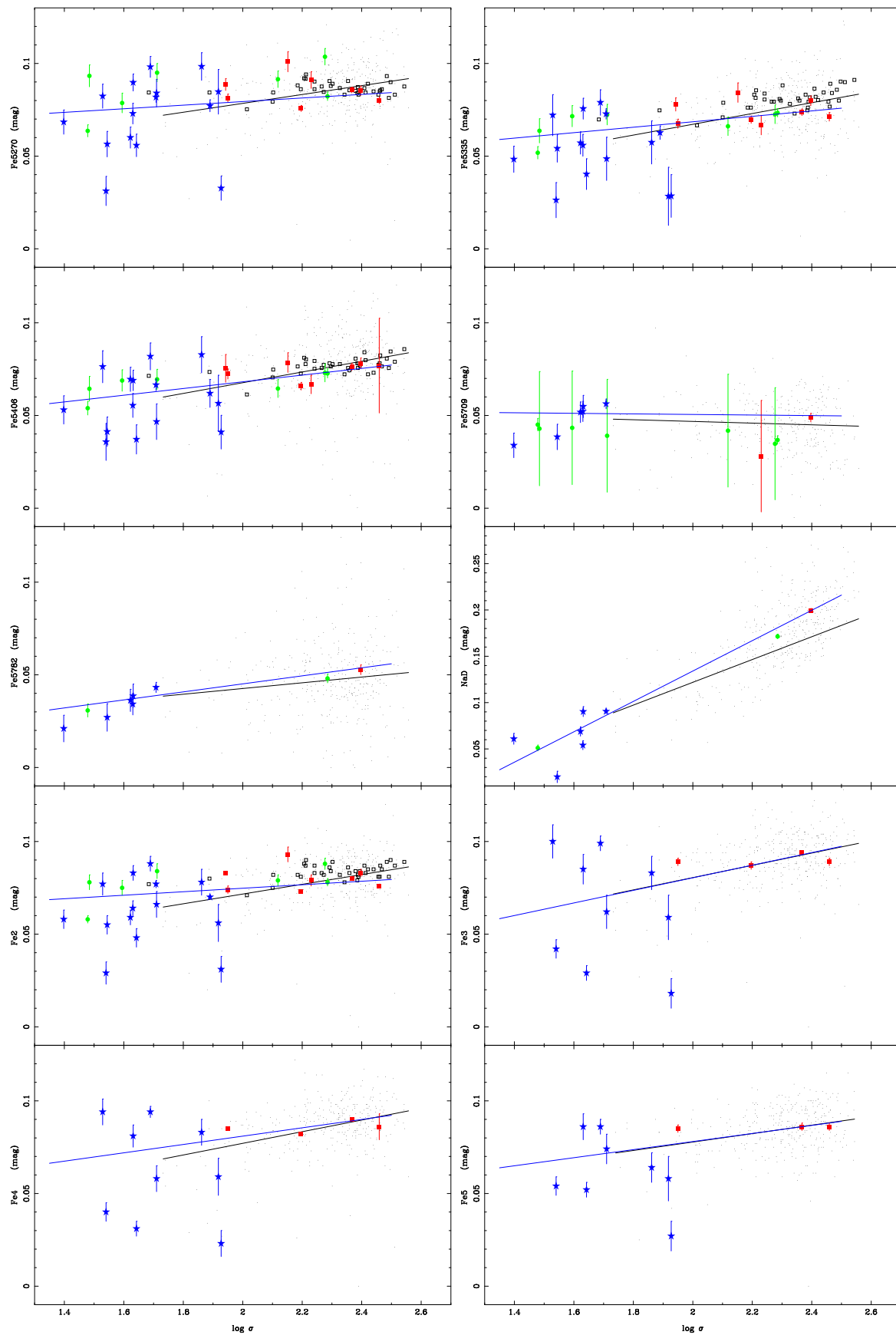


Figura 5.3: (continuación)

Tabla 5.3: Comparación de la muestra de galaxias gigantes con la muestra completa de Trager (1998). Ver texto para una explicación de las columnas.

Índice	N	offset	Δ_{offset}	σ_{Tra}	σ_{rms}	σ_{tip}	σ_{res}	t
D4000	3				0.229	0.225	0.042	
H δ_{A}	4				0.010	0.005	0.008	
H δ_{F}	6				0.028	0.004	0.028	
CN ₁	7	0.030	0.014	0.041	0.018	0.014	0.011	2.1
CN ₂	7	0.028	0.015	0.045	0.021	0.016	0.014	1.9
Ca4227	7	0.005	0.008	0.035	0.018	0.005	0.017	0.6
G4300	7	0.007	0.010	0.037	0.022	0.005	0.021	0.7
H γ_{A}	6				0.028	0.006	0.027	
H γ_{F}	7				0.040	0.006	0.040	
Fe4383	4	0.008	0.006	0.024	0.012	0.004	0.011	1.3
Ca4455	4	0.003	0.004	0.019	0.008	0.003	0.007	0.8
Fe4531	5	-0.002	0.006	0.015	0.013	0.003	0.012	0.3
C4668	6	-0.010	0.008	0.018	0.015	0.002	0.015	1.3
H β	8	-0.004	0.004	0.022	0.010	0.002	0.010	0.9
Fe5015	8	-0.005	0.002	0.016	0.006	0.003	0.005	2.0
Mg ₁	8	-0.004	0.011	0.024	0.023	0.006	0.022	0.3
Mg ₂	8	-0.005	0.013	0.035	0.030	0.006	0.029	0.4
Mgb	8	0.003	0.006	0.021	0.014	0.003	0.013	0.5
Fe5270	8	-0.002	0.003	0.012	0.007	0.002	0.007	0.8
Fe5335	8	-0.002	0.003	0.012	0.006	0.003	0.005	0.7
Fe5406	8	-0.002	0.003	0.015	0.006	0.003	0.005	0.7
Fe5709	2	0.004	0.002	0.012	0.002	0.003		1.6
Fe5782	1	0.004						
Na5895	1	0.029						
Fe2	8	-0.001	0.003	0.011	0.008	0.001	0.008	0.3
Fe3	4	0.000	0.004	0.013	0.006	0.002	0.006	0.1
Fe4	4	0.002	0.003	0.012	0.005	0.001	0.005	0.5
Fe5	3	0.001	0.004	0.012	0.007	0.002	0.007	0.2

medidos. Las otras dos muestras, aunque tienen la ventaja de tener errores típicos significativamente menores, corresponden a un rango espectral observado menor, y están más restringidas en cuanto al rango en dispersión de velocidades cubierto, a la variedad de galaxias y al entorno espacial en que se encuentran estas. Por tanto, consideramos que la muestra de Trager representa más globalmente el comportamiento de las galaxias elípticas y será con la que se compararán los resultados de este trabajo. Para ello, con cada índice se ha hecho un ajuste lineal a los valores de todas sus galaxias y, posteriormente, hemos comparado cada uno de los tres tipos de galaxias en los que hemos dividido nuestra muestra, con dicho ajuste. Los resultados se muestran en las tablas 5.3, 5.4 y 5.5. En cada tabla se da la desviación de la submuestra frente al ajuste (*offset*), el error de este (Δ_{offset}), la dispersión de los valores de Trager (σ_{Tra}) y la de los nuestros (σ_{rms}) frente al ajuste más el offset, el error típico en nuestros datos (σ_{tip}) y el residual (σ_{res}) como diferencia cuadrática de

Tabla 5.4: Comparación de la muestra de galaxias compactas con la muestra completa de Trager (1998). Ver texto para una explicación de las columnas.

Indice	N	offset	Δ_{offset}	σ_{Tra}	σ_{rms}	σ_{tip}	σ_{res}	t
D4000	7				0.225	0.171	0.146	
H δ_{A}	7				0.028	0.004	0.028	
H δ_{F}	7				0.028	0.005	0.027	
CN ₁	7	0.063	0.020	0.041	0.046	0.007	0.045	3.2
CN ₂	7	0.073	0.024	0.045	0.058	0.009	0.057	3.1
Ca4227	7	0.007	0.009	0.035	0.016	0.005	0.015	0.8
G4300	7	0.033	0.009	0.037	0.023	0.011	0.020	3.7
H γ_{A}	7				0.033	0.040		
H γ_{F}	7				0.075	0.017	0.074	
C4668	7	0.022	0.017	0.018	0.044	0.013	0.042	1.3
H β	7	-0.011	0.008	0.022	0.017	0.004	0.017	1.4
Fe5015	7	-0.007	0.003	0.016	0.007	0.003	0.006	2.4
Mg ₁	7	0.051	0.018	0.024	0.039	0.015	0.036	2.8
Mg ₂	7	0.046	0.028	0.035	0.056	0.016	0.054	1.7
Mgb	7	0.028	0.013	0.021	0.031	0.004	0.031	2.2
Fe5270	7	0.006	0.006	0.012	0.012	0.004	0.011	1.0
Fe5335	7	0.001	0.004	0.012	0.007	0.004	0.006	0.3
Fe5406	7	0.001	0.003	0.015	0.007	0.004	0.005	0.1
Fe5709	7	-0.007	0.002	0.012	0.002	0.004		4.3
Fe5782	2	0.000	0.002	0.016	0.003	0.003	0.002	0.2
Na5895	2	0.007	0.011	0.058	0.015	0.003	0.014	0.6
Fe2	7	0.003	0.004	0.011	0.008	0.003	0.007	0.9

este con la dispersión. Por último se muestra el estadístico t calculado para evaluar la significación del offset.

En acuerdo con otros trabajos previos (Kuntschner 2000, Sánchez-Blázquez 2004), las gráficas anteriores muestran que, para las galaxias elípticas clásicas existen correlaciones positivas para los índices metálicos, mucho más pronunciadas para los relacionados con elementos α como CN, Mg y Na; y menos marcadas, o casi planas en algunos casos, para los elementos del grupo del hierro como el Ca, la banda G y los índices de Fe. La diferencia la marcan los índices asociados a las líneas de absorción de la serie de Balmer H β , H γ y H δ , que presentan una correlación negativa con la dispersión de velocidades central.

Respecto a las posibles diferencias entre galaxias E clásicas y compactas, hay que destacar algunas tendencias. En primer lugar las compactas muestran offset significativos en los índices CN₁, CN₂ y G4300. Aunque hay que tener la precaución de considerar que prácticamente todos los datos relacionados con las compactas proceden de una misma campaña y puede existir algún efecto sistemático no controlado, lo cierto es que para el Ca4227, que comparte una región espectral similar, no se encuentra dicho offset, situación similar se da con el Fe5406 o el Fe5015 y los índices

Tabla 5.5: Comparación de la muestra de galaxias enanas con la muestra completa de Trager (1998). Ver texto para una explicación de las columnas.

Indice	N	offset	Δ_{off}	σ_{Tra}	σ_{rms}	σ_{tip}	σ_{res}	t
D4000	4				0.138	0.651		
H δ_{A}	7				0.141	0.012	0.141	
H δ_{F}	8				0.115	0.014	0.114	
CN ₁	10	0.036	0.030	0.041	0.043	0.034	0.027	1.2
CN ₂	10	0.038	0.023	0.045	0.039	0.038	0.012	1.7
Ca4227	12	0.014	0.021	0.035	0.051	0.017	0.048	0.7
G4300	12	0.008	0.026	0.037	0.057	0.014	0.056	0.3
H γ_{A}	12				0.079	0.013	0.078	
H γ_{F}	12				0.097	0.016	0.096	
Fe4383	9	-0.013	0.027	0.024	0.057	0.013	0.055	0.5
Ca4455	9	-0.003	0.009	0.019	0.023	0.011	0.019	0.4
Fe4531	9	0.003	0.011	0.015	0.025	0.010	0.023	0.3
C4668	9	0.003	0.012	0.018	0.033	0.006	0.032	0.3
H β	15	-0.006	0.013	0.022	0.042	0.007	0.041	0.4
Fe5015	15	-0.007	0.005	0.016	0.015	0.007	0.013	0.1
Mg ₁	15	0.039	0.012	0.024	0.034	0.011	0.033	3.4
Mg ₂	15	0.038	0.016	0.035	0.050	0.012	0.049	2.5
Mgb	15	0.026	0.009	0.021	0.025	0.007	0.024	3.0
Fe5270	15	0.004	0.006	0.012	0.017	0.005	0.016	0.6
Fe5335	15	0.004	0.005	0.012	0.014	0.006	0.012	0.8
Fe5406	15	0.003	0.005	0.015	0.013	0.007	0.011	0.7
Fe5709	6	0.004	0.005	0.012	0.008	0.005	0.007	0.8
Fe5782	6	0.001	0.004	0.016	0.006	0.005	0.004	0.2
Na5895	6	-0.003	0.010	0.058	0.018	0.004	0.018	0.3
Fe2	15	0.001	0.006	0.011	0.010	0.003	0.010	0.2
Fe3	9	-0.007	0.014	0.013	0.033	0.006	0.033	0.5
Fe4	9	-0.002	0.013	0.012	0.030	0.005	0.029	0.2
Fe5	8	-0.003	0.009	0.012	0.020	0.006	0.019	0.3

de hierro próximos en longitud de onda. También hay que apuntar que para los tres índices de Mg, las compactas tienen un offset positivo y bastante significativo. Por todo esto, y a pesar de lo escasa que es la muestra, parecen existir rasgos que diferencian a las compactas de las galaxias elípticas gigantes o normales.

Las elípticas enanas, sin embargo, no muestran diferencias tan evidentes con las Es de la muestra de Trager. Tal y como se aprecia en la tabla 5.5, tan solo se obtienen valores relativamente altos de t para CN₁ y CN₂, pero estos son similares a los que se encuentran para las gigantes (ver tabla 5.3), y para los índices de magnesio, cuyos offsets tienen un nivel de significación $\alpha < 0.05$. Para profundizar en la comparación de las dE con las gigantes un estudio complementario es analizar si realmente hay un cambio en la pendiente en la region de σ bajas. Para ello, se compara la pendiente obtenida para la muestra de Trager con la pendiente obtenida para la muestra de

Tabla 5.6: Coeficientes de la regresión lineal de los índices, medidos en magnitudes en las regiones centrales de las galaxias, frente al logaritmo de la dispersión de velocidades ($I' = a + b \log \sigma$). Se muestra en la segunda columna la pendiente obtenida por Sánchez-Blázquez (2004) (S-B) en su muestra de elípticas situadas en entornos de baja densidad y en la tercera la correspondiente a la muestra de E de Trager (1998). Los coeficientes correspondientes a la muestra de elípticas gigantes y enanas (sin incluir compactas) se presentan en las columnas 4 y 5. En las siguientes se da la desviación estándar respecto del ajuste lineal (σ_{std}), la dispersión esperada por los errores en las medidas de los índices (σ_{exp}) y la dispersión residual no explicada por estos (σ_{res}). En la última columna se muestra el estadístico t de la comparación entre la pendiente de la muestra de Trager y la de este trabajo, entre paréntesis cuando la comparación se ha realizado con la muestra de S-B.

Índice	S-B	Trager	Este trabajo		σ_{std}	σ_{exp}	σ_{res}	t
	$b \pm \Delta(b)$	$b \pm \Delta(b)$	$a \pm \Delta(a)$	$b \pm \Delta(b)$				
D4000	0.168±0.007		1.561±1.311	0.328±0.616	0.217	0.319		(0.26)
H δ_A	-0.049±0.004		0.601±0.682	-0.295±0.322	0.102	0.008	0.102	(0.76)
H δ_F	-0.052±0.007		0.250±0.251	-0.106±0.117	0.059	0.006	0.059	(0.46)
CN ₁		0.219±0.027	-0.332±0.045	0.196±0.021	0.023	0.020	0.013	0.64
CN ₂	0.278±0.007	0.242±0.020	-0.329±0.049	0.213±0.023	0.043	0.022	0.037	0.97
Ca4227	0.027±0.005	0.067±0.017	0.048±0.080	0.028±0.037	0.026	0.008	0.025	0.97
G4300	0.017±0.004	0.080±0.017	0.059±0.102	0.052±0.047	0.035	0.008	0.034	0.55
H γ_A	-0.056±0.004		0.043±0.124	-0.075±0.059	0.053	0.009	0.052	(0.32)
H γ_F	-0.097±0.006		0.090±0.181	-0.067±0.084	0.060	0.008	0.059	(0.36)
Fe4383	0.026±0.003	0.052±0.011	-0.005±0.100	0.054±0.046	0.032	0.006	0.031	0.03
Ca4455	0.024±0.003	0.035±0.009	0.021±0.048	0.029±0.022	0.013	0.005	0.012	0.26
Fe4531	0.015±0.003	0.033±0.007	0.053±0.054	0.015±0.025	0.016	0.005	0.016	0.69
C4668	0.055±0.004	0.079±0.008	-0.002±0.061	0.038±0.028	0.018	0.003	0.018	1.41
H β	-0.031±0.006	-0.073±0.011	0.172±0.057	-0.050±0.026	0.022	0.004	0.022	0.80
Fe5015	0.013±0.002	0.010±0.007	0.064±0.020	0.004±0.009	0.010	0.005	0.009	0.48
Mg ₁		0.177±0.011	-0.098±0.048	0.102±0.023	0.025	0.009	0.023	2.90
Mg ₂		0.243±0.016	-0.085±0.070	0.162±0.034	0.035	0.009	0.034	2.20
Mgb	0.100±0.005	0.143±0.010	-0.059±0.041	0.098±0.019	0.015	0.004	0.014	2.10
Fe5270	0.016±0.005	0.024±0.006	0.060±0.026	0.010±0.012	0.011	0.003	0.010	1.07
Fe5335	0.020±0.006	0.029±0.006	0.039±0.020	0.015±0.010	0.009	0.004	0.008	1.27
Fe5406		0.029±0.008	0.032±0.023	0.018±0.011	0.009	0.004	0.008	0.80
Fe5709		-0.005±0.006	0.054±0.024	-0.002±0.012	0.009	0.004	0.008	0.23
Fe5782		0.015±0.008	0.002±0.016	0.022±0.008	0.006	0.004	0.004	0.54
Na5895		0.123±0.036	-0.194±0.049	0.164±0.025	0.019	0.004	0.018	0.93
Fe2	0.022±0.005	0.025±0.006	0.056±0.023	0.009±0.011	0.008	0.002	0.008	1.25
Fe3	0.018±0.005	0.039±0.006	0.013±0.093	0.034±0.042	0.019	0.003	0.019	0.11
Fe4		0.032±0.007	0.036±0.071	0.023±0.033	0.014	0.002	0.014	0.28
Fe5	0.018±0.002	0.029±0.005	0.034±0.041	0.022±0.019	0.014	0.003	0.013	0.37

este trabajo, sin incluir las compactas (recta azul en las gráficas de la figura 5.3). En la tabla 5.6 se presentan los coeficientes de la regresión lineal de los índices frente al logaritmo de la dispersión de velocidades ($I' = a + b \log \sigma$). Se muestra también, en la última columna de esta tabla, el estadístico t de la comparación de las dos pendientes. Además de las dos pendientes mencionadas, con sus errores ($b \pm \Delta(b)$), se incluye la obtenida por Sánchez-Blázquez (2004) en su muestra de 59 galaxias elípticas situadas en entornos de baja densidad.

En esta comparación de los índices de las elípticas enanas frente a las relaciones que presentan estos con la dispersión de velocidades central para las gigantes, una primera consideración es la amplia dispersión de los valores de los índices en las dE. Tanto en la comparación con el ajuste a la muestra de Trager (σ_{rms} en la tabla 5.5), como con la pendiente ajustada a las gigantes y enanas de la muestra de este trabajo (σ_{std} en la tabla 5.6), de forma generalizada para todos los índices analizados, la dispersión es claramente mayor que la que se esperaría a partir de los errores medidos en las dE para dichos índices. Esta dispersión además, hace que los pequeños offset encontrados en la comparación con la muestra de Trager sean aún menos significativos.

De la comparación de las dos pendientes, se obtienen resultados similares a los obtenidos al medir el offset frente a las elípticas gigantes de Trager. De forma general para la mayoría de los índices, las pendientes son muy parecidas y sus diferencias no son significativas, tal y como se comprueba con los valores de t de la tabla 5.6. Ahora incluso para CN_1 y CN_2 son compatibles ambas muestras. Tan solo, de nuevo, para los índices de magnesio se encuentran diferencias significativas. Sin embargo, de aquí no podemos deducir directamente que son las dE las que se desvían de las relaciones $I - \sigma_0$ para estos índices de magnesio, puesto que la mayor pendiente que presentan las muestras que se restringen a elípticas gigantes frente a las que incluyen también a las dE en parte es debido a la sobreabundancias de estos elementos presentes en las elípticas más masivas, efecto que se analizará en una sección posterior cuando se transformen los valores de los índices en edad y metalicidad mediante los modelos de síntesis de poblaciones.

Como análisis adicional, dada la gran dispersión que presentan los índices en la muestra de las elípticas enanas, se han estudiado las posibles correlaciones entre los residuos del ajuste a una recta de la submuestra de gigantes y enanas frente al índice $\text{H}\beta$, hallando que para ninguno de los índices presentan una correlación significativa, con la única excepción de Mg_2 que muestra una anticorrelación con un nivel de significación $\alpha < 0.01$, tal y como ya indicaron González y Gorgas (1996).

Del estudio desarrollado en esta sección se desprende que las relaciones que presentan las dE con la dispersión de velocidades son similares a las encontradas para las elípticas gigantes y por tanto se amplían las relaciones $I - \sigma_0$ ya conocidas hasta valores de 25–30 Km/s para la dispersión de velocidades central de las galaxias elípticas.

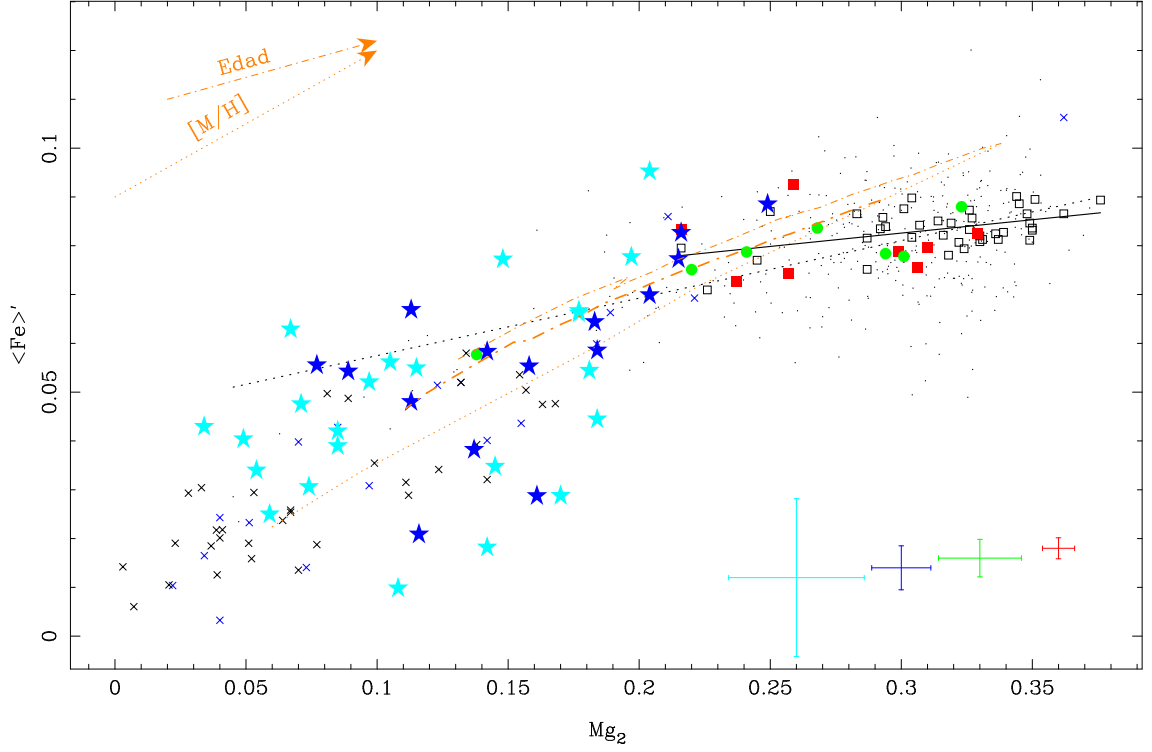


Figura 5.4: Diagrama $\langle \text{Fe} \rangle' - \text{Mg}_2$. Con cuadrados rojos se representan las galaxias elípticas gigantes de nuestra muestra, con círculos verdes las compactas y las enanas con estrellas azules (tonos oscuros o claros según la calidad de los datos, ver texto). Las galaxias de la muestra de Trager (1998) se representan con puntos y las de González (1993) con cuadrados huecos. Las pequeñas cruces negras identifican los cúmulos globulares de la Vía Láctea y las azules los de M31. Ver texto para más información.

5.3. Diagramas índice - índice

Como ya se ha comentado anteriormente, el análisis de las intensidades de las líneas de absorción características de los espectros de las galaxias de primeros tipos, mediante la medida de índices espectroscópicos, es una de las herramientas más útiles en el estudio de sus poblaciones estelares. Un primer paso es la representación de los valores de un índice frente a los de otro para analizar qué posiciones ocupan las galaxias de la muestra. Lógicamente, cuanto más independientes sean los índices elegidos, o más representativos de distintas fases de la evolución estelar, más información podrá obtenerse. Posteriormente se pueden incluir en estos diagramas las predicciones de los valores de estos índices proporcionadas por los modelos de síntesis de poblaciones estelares (Bruzual y Charlot 1993, Worthey 1994, Vazdekis 1999) para extraer conclusiones sobre los parámetros básicos de dichas poblaciones estelares, como la edad, la metalicidad o la función inicial de masas.

Con el fin de estudiar las poblaciones estelares de las galaxias enanas, es útil

realizar una comparación con las galaxias de otros tipos. Por esta razón, los índices a analizar van a ser los más ampliamente utilizados por otros autores para elípticas clásicas, como son $H\beta$, Mg_2 y $\langle Fe \rangle$ ¹. Tal y como se ha especificado en la sección anterior, se utilizan los valores de todos los índices medidos en magnitudes, de aquí que en la notación se añade el signo ' para diferenciarlos de los valores de los índices que habitualmente se expresan en angstroms.

En la figura 5.4 se representa un diagrama $\langle Fe \rangle'$ frente a Mg_2 . En esta gráfica se han incluido las muestras de galaxias de Trager (1998) y de González (1993). Para cada una de ellas se han calculado ajustes por mínimos cuadrados que se representan por líneas negras de puntos y continua respectivamente. Se incluyen también dos muestras de cúmulos globulares (Trager 1998): los pertenecientes a la Vía Láctea (identificados con cruces negras) y a M 31 (cruces azules).

De nuestra muestra de galaxias, al igual que en el apartado anterior, se han diferenciado las gigantes (cuadrados rojos) y las compactas (círculos verdes). Para las galaxias enanas (estrellas) se han separado las que tienen medidas de mayor calidad (azul oscuro) de las que tienen errores mayores (azul claro). Para esto, a partir del error de cada galaxia para cada uno de los dos índices ΔX_i y ΔY_i , se calcula el error medio de la muestra completa de enanas para cada índice $\overline{\Delta X_i}$ y $\overline{\Delta Y_i}$. Para hacer comparables los errores en distintos índices, se calculan los cocientes entre el error de una galaxia para un índice y el error medio de ese índice (Z_{X_i} y Z_{Y_i}), y se calcula el error de cada galaxia en este diagrama Z_i como la media cuadrática de los errores en los dos índices:

$$\begin{array}{ccccccc} \Delta X_i & \rightarrow & \overline{\Delta X_i} & \rightarrow & Z_{X_i} = \frac{\Delta X_i}{\overline{\Delta X_i}} & \rightarrow & Z_i = \frac{\sqrt{Z_{X_i}^2 + Z_{Y_i}^2}}{\sqrt{2}} \\ \Delta Y_i & \rightarrow & \overline{\Delta Y_i} & \rightarrow & Z_{Y_i} = \frac{\Delta Y_i}{\overline{\Delta Y_i}} & & \end{array}$$

Por convenio, la submuestra de mayor calidad está compuesta por las galaxias enanas con $Z_i < 1$. Los errores típicos de cada una de las cuatro submuestras se representan con sus respectivos colores en la parte inferior derecha de la gráfica.

Como información adicional se incluyen también, en color naranja, parte de las predicciones de los modelos de síntesis de Vazdekis (1999), para una población estelar formada en un único brote y con una función inicial de masas de tipo Salpeter (1955). La línea de puntos representa distintas metalicidades ($-1.68 < [M/H] < 0.20$) para una edad de 17.8 Gigaños. La línea de puntos y rayas fina indica distintas edades, desde 1 hasta 17.8 Gigaños, para una metalicidad $[M/H] = 0.2$ y la gruesa para la metalicidad de la vecindad solar ($[M/H] = 0.0$).

Una clara limitación de los diagramas índice-índice es la conocida degeneración edad-metalicidad (Worthey 1994). La proporción en la que cambian muchos de los índices cuando hay una diferencia en edad ($\Delta edad$) entre dos poblaciones estelares es muy similar a la que se encuentra cuando hay una diferencia en metalicidad

¹Valor medio de Fe5270 y Fe5335. Es Fe2 en las tablas 5.3, 5.4 y 5.5, pero $\langle Fe \rangle$ es la nomenclatura habitual en la bibliografía

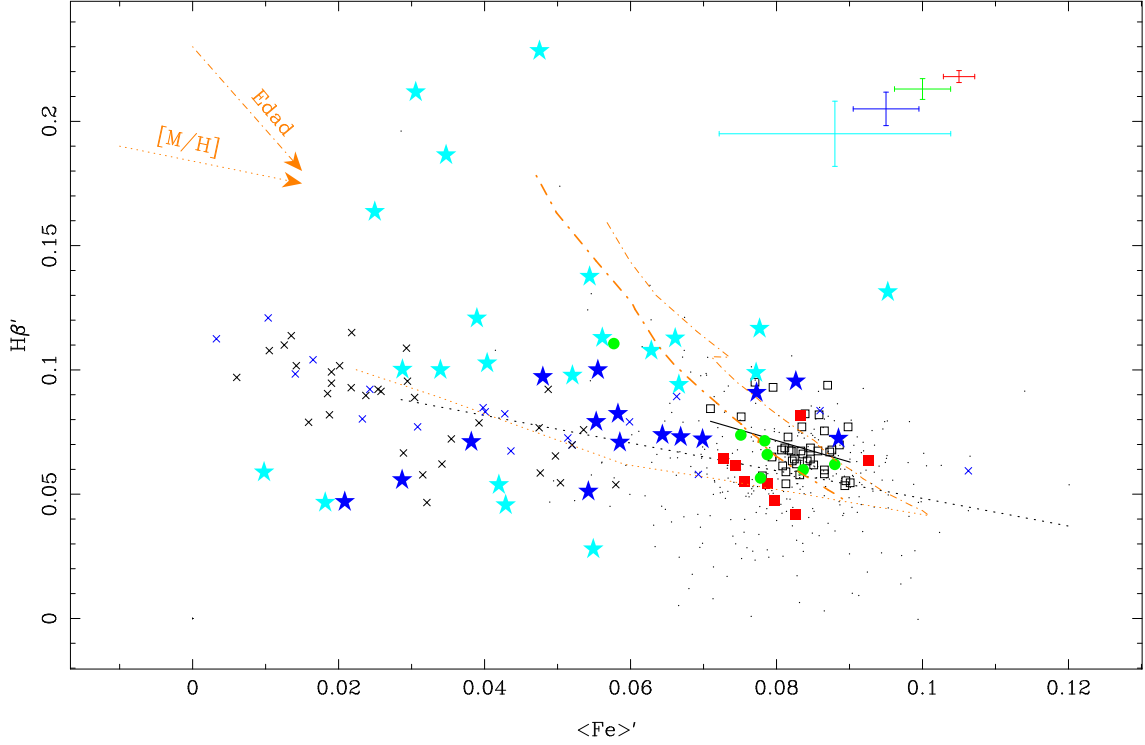


Figura 5.5: Diagrama $H\beta' - \langle Fe \rangle'$. Símbolos como en la figura 5.4.

(ΔZ), siguiendo una relación $\Delta edad / \Delta Z = 3/2$. Por este motivo, son más útiles los diagramas que representen en un eje un índice más sensible a la edad, como son los de la serie de Balmer ($H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$) o D4000, y en el otro eje, un índice más sensible a la metalicidad, como los localizados en líneas de hierro o magnesio. Por este motivo, representamos también en las figuras 5.5 y 5.6 $H\beta'$ frente a $\langle Fe \rangle'$ y frente a Mg_2 . En principio se podrían haber utilizado otras parejas de índices, por ejemplo $H\gamma$ y $H\delta$ por un lado y Fe4668, Fe5709 o Fe5782 por otro, que ofrecen una mayor ortogonalidad en la trama de las predicciones de los modelos y, por tanto, permitirían separar mejor los efectos de edad y metalicidad. Pero la escasez de datos y la calidad de estos, tanto en nuestra muestra como en las de la literatura, no han permitido aprovechar estas ventajas. Además, los diagramas presentados en estas figuras son los más ampliamente utilizados por otros autores.

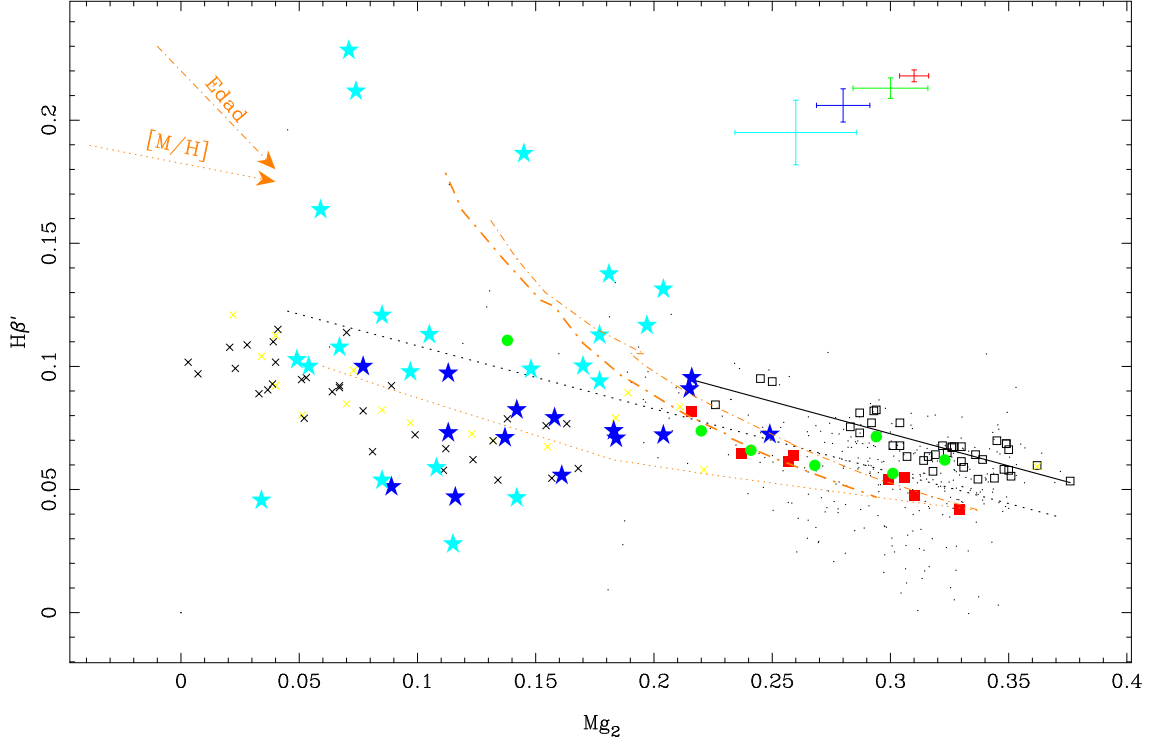
El resultado que más claramente se desprende de estos diagramas es que las galaxias elípticas enanas ocupan zonas marcadamente diferenciadas de las elípticas gigantes o normales (incluyendo las compactas) y que, además, las tendencias que se aprecian también son diferentes. En la figura 5.4 se observa que las enanas, no solamente no son la extrapolación de las gigantes hacia valores menores de Mg_2 y $\langle Fe \rangle'$, sino que además coinciden mejor con las posiciones ocupadas por los cúmulos globulares y, sobre todo, con su tendencia. En este sentido, hay que destacar que,

cuando solamente se cuenta con medidas de las elípticas enanas más brillantes, que suelen presentar valores de Mg_2 y $\langle Fe \rangle'$ más altos, su posición en este tipo de diagramas se sitúa entre los cúmulos globulares y las elípticas gigantes (Gorgas et al. 1997). Sin embargo, a medida que se amplía la muestra hacia enanas más débiles, la concordancia con los cúmulos globulares es mayor.

Otra característica que se pone de manifiesto en estas figuras es que las enanas muestran una mayor dispersión que las gigantes. Aunque es cierto que, en parte, esto es debido a errores mayores en las medidas de los índices en las primeras, si se comparan las dos submuestras (azul claro y azul oscuro) de galaxias enanas en la figura 5.4 se comprueba que ambas presentan dispersiones y tendencias similares aunque, sin embargo, muestran una gran diferencia en sus errores típicos. Por tanto, podemos considerar que la dispersión en los valores de estos índices es, en buena parte, intrínseca a este tipo de galaxias elípticas. Las enanas más débiles de la muestra, que son las que presentan errores mayores por motivos observacionales lógicos, también son las que tienen los valores menores de Mg_2 y $\langle Fe \rangle'$, confirmando tanto la localización como la tendencia de las elípticas enanas, coincidentes con los cúmulos globulares en este diagrama. Respecto a las figuras 5.5 y 5.6, en las que se utiliza el índice $H\beta'$, la dispersión es aún mayor y es más claro que no está justificado únicamente por los errores observacionales. Sin embargo, en estos diagramas sí se aprecia que la submuestra con mejores datos presenta tendencias más definidas y, de nuevo, distintas de las que tienen las gigantes. La mayor diferencia en estas dos gráficas viene dada principalmente por el amplio rango en los valores de $H\beta'$ de las enanas. Pues aunque, por un lado, hay algunas que tienen valores tan pequeños como los inferiores de las gigantes o los cúmulos, por otro, hay una buena proporción de elípticas enanas que presentan valores de $H\beta'$ marcadamente superiores a los de la mayoría de las gigantes.

Las medidas de índices en las elípticas gigantes indican sobreabundancias de algunos elementos α como Mg, Na o N (Peletier 1989; Worthey, Faber y González 1992; Davies, Sadler y Peletier 1993; Trager et al. 2000b y referencias en el), frente a las predicciones teóricas de los modelos de síntesis de poblaciones, que están basados en proporciones entre las abundancias de distintos elementos similares a las que se encuentran en la vecindad solar. Esto queda claramente reflejado en la figura 5.4 cuando se comparan las posiciones de las E respecto de los modelos de Vazdekis. Sin embargo, en esta misma gráfica, y a diferencia de las gigantes, las galaxias enanas de la muestra son claramente más coincidentes con las predicciones de los modelos, es decir, no se encuentran en ellas las citadas sobreabundancias. Además, si se comparan las posiciones ocupadas por las enanas en las figuras 5.5 y 5.6 se observa que son similares en relación a los modelos. Por lo que se deduce que las galaxias elípticas enanas, a diferencia de las gigantes, tienen relaciones Mg/Fe solares.

Al comparar las elípticas enanas con las gigantes se encuentran marcadas di-


 Figura 5.6: Diagrama $H\beta' - Mg_2$. Símbolos como en la figura 5.4.

diferencias en sus parámetros estructurales. La relación $\langle \mu \rangle_e - M_B$ tiene pendiente positiva para las enanas y negativa para las gigantes (ver figura 2.1). Además, el perfil del brillo superficial en las gigantes se ajusta bien a la ley $r^{1/4}$ (de Vaucouleurs 1948), mientras que las enanas se ajustan mejor con un perfil de Sérsic (1968) $r^{1/n}$ con valores de $n \sim 1$. Igualmente, las enanas ocupan una zona en el Plano Fundamental diferente a la de las gigantes. Sin embargo, al mismo tiempo, también comparten marcadas similitudes, como en las relaciones $Mg_2 - \sigma$ y color-magnitud. Con la información que se desprende de los diagramas índice-índice, queda claro que la dicotomía existente en los parámetros estructurales también se produce entre las poblaciones estelares de los dos tipos de galaxias. Tanto por las diferencias en los valores y tendencias de los índices, como por las relaciones de abundancias entre elementos.

Estas diferencias en las propiedades observables en las poblaciones estelares han de tener su origen en distintas historias de la formación y evolución de los dos tipos de galaxias elípticas. Si la mayor relación Mg_2/Fe de las gigantes se debe a una sobreabundancia de elementos α , es probable que la formación estelar en estas galaxias haya ocurrido en un periodo corto de tiempo, dado que el Mg se genera más rápidamente en supernovas de tipo II, a partir de estrellas muy masivas, mientras que el Fe se produce, en escalas mayores de tiempo, en supernovas de tipo Ia. Este argumento indicaría que las elípticas enanas se han debido formar más lentamente.

Es decir, la formación estelar ha debido durar lo suficiente para dar lugar a relaciones Mg_2/Fe solares, o bien las poblaciones estelares actuales se han creado cuando ya se contaba con estas proporciones entre las abundancias de los elementos. Sin embargo, otras causas, como una distinta proporción entre estrellas más o menos masivas, pueden también dar lugar a distintos ritmos de producción y abundancias de unos u otros elementos. Al comparar las medidas de los índices con las predicciones de los modelos de síntesis de poblaciones estelares en la siguiente sección, se obtendrán estimaciones de edad, metalicidad e IMF que se podrán contrastar con las predicciones de diferentes historias de la formación y evolución estelar en estas galaxias.

5.4. Análisis de edades y metalicidades

5.4.1. Introducción

La edad y la metalicidad son los dos parámetros fundamentales a la hora de caracterizar una población estelar. Sin embargo, medir independientemente ambos parámetros es una tarea compleja debido a distintas causas como: la conocida degeneración edad–metalicidad (Worthey 1994); el hecho de que la luz integrada de las galaxias es posiblemente la mezcla de distintas poblaciones, mientras que los modelos de síntesis representan una población estelar simple, o la posibilidad de que la función inicial de masas (IMF) no sea idéntica para todas las galaxias. Igualmente, al considerar la metalicidad como la abundancia integrada de todos los elementos más pesados que el helio, las predicciones de distintos modelos van a depender de: las abundancias relativas asumidas en ellos, del detalle con el que se consideren las distintas fases de la evolución estelar, de la precisión de los modelos de atmósferas estelares, y de las limitaciones de la librería estelar utilizada en la confección de cada modelo.

Del párrafo anterior se desprende que las edades y metalicidades que se obtengan no serán muy realistas en valores absolutos. De hecho, el uso de distintos modelos e índices puede proporcionar, para una galaxia dada, diferencias típicas en edad de 4 o 5 Gigaños (para poblaciones viejas de ~ 13 Gigaños) y en metalicidad de $\Delta[\text{M}/\text{H}] \sim 0.2\text{--}0.3$ (Tantalo y Chiosi 2003). Sin embargo, elegido un modelo, las diferencias relativas entre distintas galaxias sí serán relevantes. Por esto, se hace aconsejable comparar los resultados de la muestra de elípticas enanas con otra muestra de elípticas gigantes, como es la de González (1993).

En la figura 5.7 se muestran las predicciones de los modelos de Vazdekis (1999) para los índices $\text{H}\beta$, claramente sensible a la edad, y Mg_2 , más sensible a la metalicidad. En el panel superior se representa la malla completa de las predicciones de los modelos para edades entre 1.0 y 17.78 Gigaños, y metalicidades $-1.68 < [\text{M}/\text{H}] < 0.20$. En el panel inferior solamente se representan los modelos correspondientes a edades de 1.0, 1.41, 2.0, 3.16, 5.01, 7.08, 8.91, 11.22, 14.13 y 17.78 Gigaños. También se incluye una línea de trazos más que representa una metalicidad $[\text{M}/\text{H}] = 0.4$

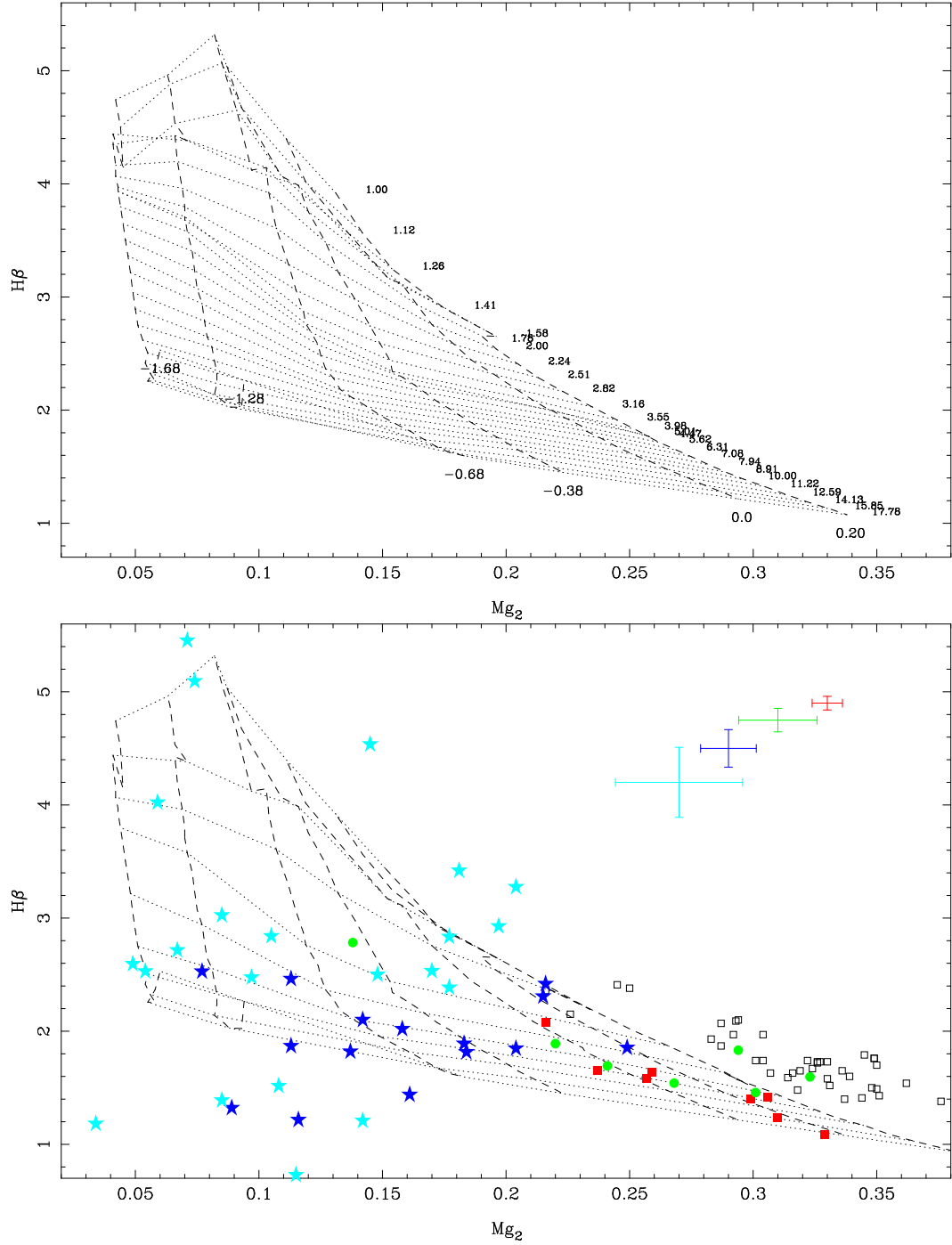


Figura 5.7: Predicciones de los modelos de Vazdekis (1999) para los índices $H\beta$ y Mg_2 . Las líneas de trazos unen los puntos de una misma metalicidad y las líneas de puntos los de una misma edad. Los cuadrados negros representan la muestra de galaxias elípticas de González (1993). Los cuadrados rojos son las elípticas gigantes de este trabajo, mientras que los círculos verdes y las estrellas representan las galaxias compactas y las enanas respectivamente. Entre estas últimas se diferencian, al igual que en las figuras anteriores, con azul oscuro las que tienen menores errores en los índices y azul claro las que tienen errores mayores. Con el mismo código de colores se muestran las barras de error típicas de cada submuestra. Ver el texto para más detalles.

y que se ha calculado como una extrapolación lineal a partir de los valores para 0.0 y 0.2.

A la vista de estas gráficas, es claro que las predicciones de los modelos no abarcan todo el rango de valores de los índices medidos en las galaxias. Por una parte, debido a las sobreabundancias de algunos elementos α como el Mg, la mayoría de las galaxias de la muestra de González (1993) y algunas de la muestra de este trabajo caen fuera de las predicciones de los modelos, aún habiendo hecho la extrapolación hasta $[M/H] = 0.4$. Por otro lado, no es tan fácil interpretar las galaxias fuera de la red de modelos en la región de las edades más viejas y las menores metalicidades (parte inferior izquierda del diagrama). En esta zona, la malla se empieza a curvar a medida que aumenta la edad y no se llega a alcanzar los pequeños valores de $H\beta$ que se miden en algunas elípticas enanas. Estas limitaciones implican que no pueden obtenerse estimaciones de edad y metalicidad para todas las galaxias de la muestra.

5.4.2. Medida de edades y metalicidades

En principio, para una galaxia en la que se han medido dos índices, se pueden comparar estos con las predicciones de los modelos y, mediante una interpolación lineal entre los 4 vértices más próximos de la malla, obtener los correspondientes valores de edad y metalicidad, tal y como se muestra en el panel izquierdo de la figura 5.8 para $H\beta$ y Mg_2 . Sin embargo, para paliar parcialmente la separación entre los vértices de la malla y tener en cuenta las variaciones locales, se consideró más adecuado obtener los valores de edad y metalicidad a partir de los polinomios de segundo orden ajustados al vértice más próximo y los 8 que lo rodean (Cardiel et al. 2003), tal y como se muestra en el panel de la derecha. En esta figura se muestra un ejemplo en el que, para una galaxia con valores de los índices $Mg_2 = 0.16$ y $H\beta = 2.15$, se obtiene una edad de 5.49 Gigaños y metalicidad $[M/H] = -0.46$ con una interpolación lineal (izquierda), y 5.35 Gigaños y $[M/H] = -0.45$ con la transformación utilizada (derecha).

Para evitar el problema de la imposibilidad de medir edades y metalicidades para galaxias con importantes sobreabundancias de Mg, una opción es utilizar otro índice que también sea sensible a la metalicidad como es el $\langle Fe \rangle$ (gráfica superior de la figura 5.9). El utilizar $H\beta$ y $\langle Fe \rangle$ permite obtener la edad y metalicidad para un mayor número de galaxias, pero a la vez pone de manifiesto el que estos valores dependen de los índices utilizados. En este sentido, se hace necesario utilizar otro índice para el cual las predicciones de los modelos dependan lo mínimo posible de las abundancias relativas. González (1993) y Worthey (1994) sugirieron una combinación de índices de hierro y magnesio y definen $[MgFe] = \sqrt{Mgb} \times \langle Fe \rangle$. Más recientemente, Bruzual y Charlot (2003) han sugerido también otras combinaciones de índices relacionados con estos elementos que tienen una dependencia muy débil con las abundancias relativas ($[Mg_1Fe] = 0.6Mg_1 + 0.4 \log (Fe4531 + Fe5015)$ y $[Mg_2Fe] = 0.6Mg_2 + 0.4 \log (Fe4531 + Fe5015)$). Así mismo, Thomas et al. (2003)

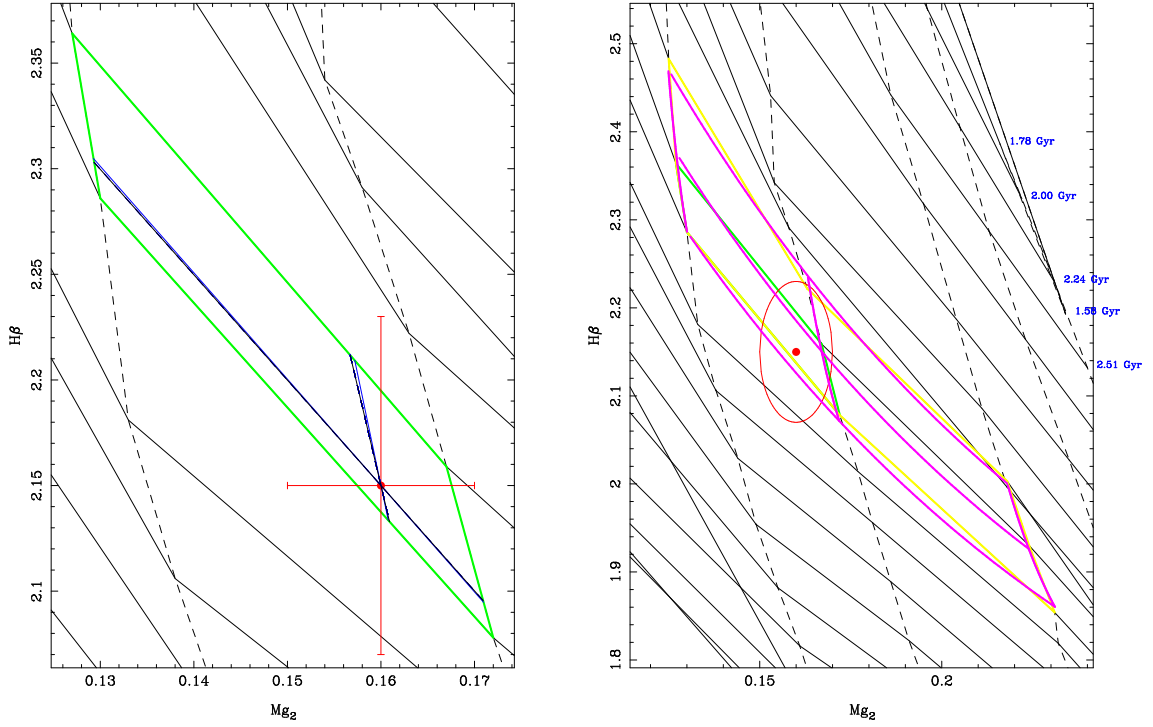


Figura 5.8: Cálculo de la edad y metalicidad al comparar las medidas de dos índices en el espectro de una galaxia con las predicciones de los modelos de Vazdekis (1999). A la izquierda se hace una interpolación lineal con los valores de edad y metalicidad de cuatro vértices del polígono (en verde). A la derecha se tiene en cuenta además la variación local de los índices y se calcula la transformación con polinomios de segundo orden y dos variables (magenta) a partir de los valores en nueve vértices, el más cercano a la posición de la galaxia y los 8 que lo rodean (amarillo).

aconsejan el uso de una pequeña modificación del primero para que la dependencia sea completamente nula: $[MgFe]' = \sqrt{Mgb \times (0.72 \text{ Fe5270} + 0.28 \text{ Fe5335})}$. Utilizaremos esta última definición para confeccionar la gráfica inferior de la figura 5.9.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se han medido la edad y metalicidad a partir de los distintos índices representados en las figuras 5.7 y 5.9 mediante el método de interpolación descrito anteriormente. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 5.7. El error en edad se ha calculado como la mitad de la diferencia entre las edades obtenidas con el valor de $H\beta$ más y menos su error. De la misma forma se ha calculado el error en metalicidad con su correspondiente índice metálico. En algunos casos no se han podido calcular los errores por encontrarse los valores de los índices fuera de la malla de las predicciones de los modelos y por este motivo no se han incluido en la Tabla 5.7, aunque si se han incluido los correspondientes valores de edad y metalicidad obtenidos con una mínima extrapolación de los valores más próximos de la malla.

En la figura 5.10 se representan estos valores para poder comparar las edades

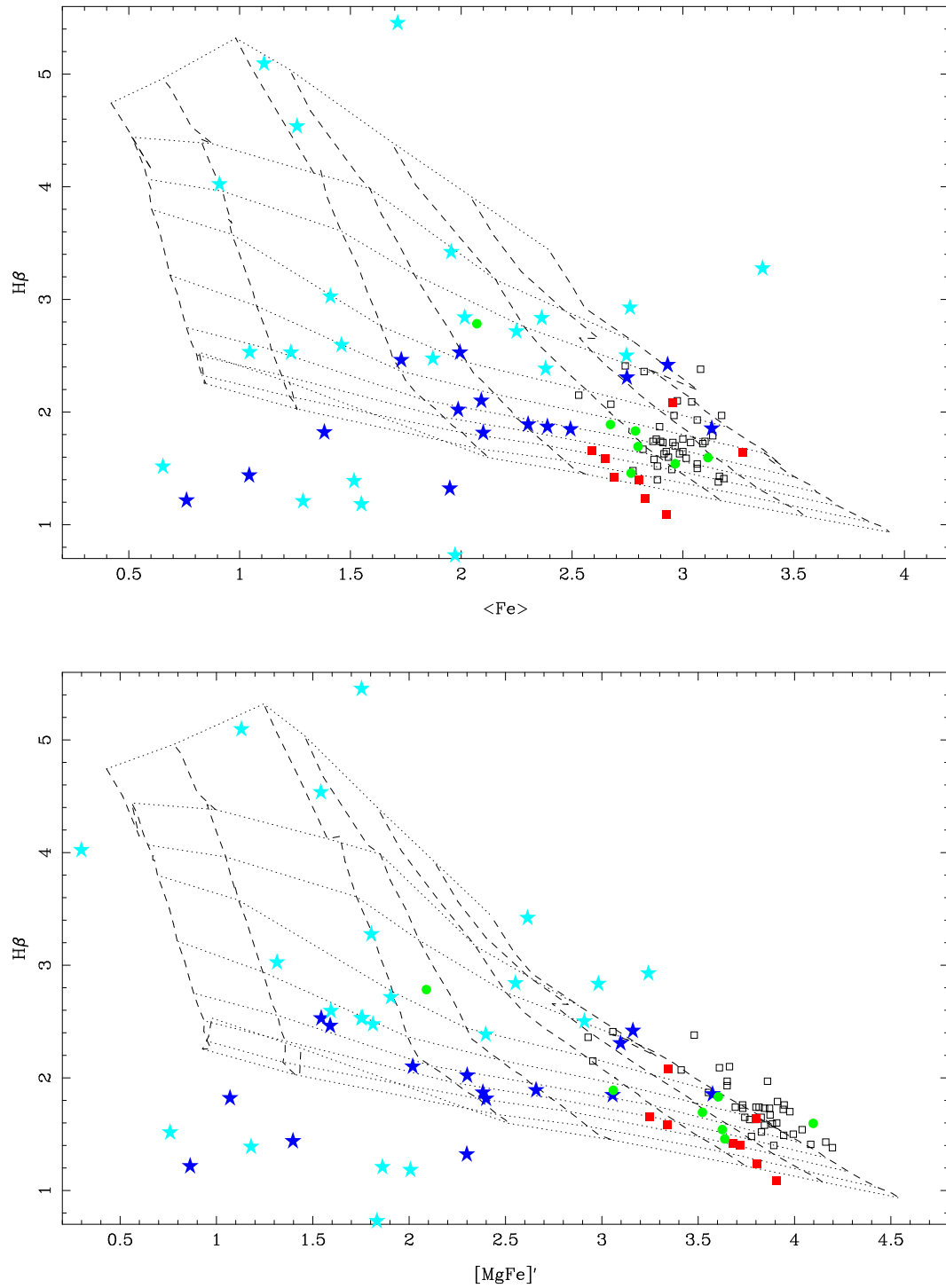


Figura 5.9: Predicciones de los modelos de Vazdekis (1999) y valores medidos en la muestra para los pares de índices $H\beta - \langle Fe \rangle$ y $H\beta - [MgFe]'$. Símbolos como en la figura 5.7.

Tabla 5.7: Edad y metalicidad calculados según se describe en el texto a partir de las predicciones de los modelos de Vazdekis (1999) y utilizando $H\beta$ frente a Mg_2 , $\langle Fe \rangle$, $[MgFe]$ ó $[MgFe]'$. En la tercera columna se indica el tipo de galaxia elíptica: gigante (g), compacta (c) o enana (d). Para cada galaxia, la segunda línea indica los errores en los parámetros.

Galaxia	T	Log edad (años)				Metalicidad			
		Mg_2	$\langle Fe \rangle$	$[MgFe]$	$[MgFe]'$	Mg_2	$\langle Fe \rangle$	$[MgFe]$	$[MgFe]'$
		Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
1 NGC2694	g	9.88	9.71	9.70	9.71	0.10	0.32	0.33	0.38
		0.18	0.04	0.05	0.02	0.13	0.13	0.13	0.13
2 NGC3605	g	9.54	9.45	9.45	9.44	0.05	0.30	0.30	0.33
		0.12	0.10	0.09	0.09	0.12	0.10	0.10	0.11
3 NGC3641	g	9.97	10.20	10.08	10.04	0.24	-0.19	0.04	0.11
		0.20	0.10	0.11	0.12	0.26	0.13	0.10	0.10
4 NGC4374	g	9.89	10.23	10.04	10.04	0.33	-0.28	0.09	0.10
		0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05
5 NGC4387	g	9.96	10.08	10.01	10.00	0.03	-0.21	-0.07	-0.05
		0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.08	0.06	0.06
6 NGC4406	g	10.14	10.27	10.21	10.21	0.15	-0.20	0.04	0.05
		0.06		0.06	0.06	0.04		0.04	0.04
7 NGC4415	d	9.91	9.90	9.91	9.91	-0.41	-0.36	-0.42	-0.40
		0.19	0.19	0.18	0.19	0.11	0.18	0.15	0.15
8 NGC4431	d	9.98	10.02	10.03	10.04	-0.45	-0.59	-0.62	-0.64
		0.19	0.22	0.21	0.20	0.11	0.19	0.15	0.15
9 NGC4435	g	9.97	10.03	9.95	9.96	-0.09	-0.23	-0.07	-0.08
		0.06	0.05	0.04	0.05	0.05	0.06	0.08	0.04
10 NGC4436	d	9.53	9.21	9.29	9.26	-0.28	0.23	0.08	0.03
		0.08	0.08	0.15	0.15	0.47	0.45	0.24	1.15
11 NGC4464	c	9.91	9.91	9.83	9.78	-0.02	-0.03	0.10	0.17
		0.13	0.10	0.13	0.11	0.21	0.14	0.10	0.11
12 NGC4467	c	9.95	9.99	9.95	9.92	0.09	0.03	0.09	0.14
		0.15	0.14	0.17	0.14	0.21	0.15	0.11	0.11
13 NGC4486B	c		9.86	9.70	9.48	0.40	0.17	0.40	0.40
			0.12				0.14		
14 NGC4489	d	9.38	9.38	9.37	9.36	0.25	0.23	0.26	0.28
		0.07	0.06	0.07	0.08	0.15	0.14	0.10	0.10
15 NGC4515	d	9.88	9.87	9.84	9.83	-0.24	-0.21	-0.13	-0.11
		0.14	0.13	0.14	0.15	0.10	0.11	0.09	0.09
16 NGC5846	g	10.28	10.28	10.28	10.27	0.14	-0.20	0.10	0.17
		0.14				0.07			
17 NGC5846A	c	9.87	10.15	10.02	10.01	0.33	-0.19	0.08	0.09
		0.10	0.06	0.10	0.09	0.11	0.06	0.06	0.06
18 IC767	c	9.41	9.35	9.42	9.43	-0.45	-0.22	-0.50	-0.43
		0.04	0.04	0.04	0.01	0.13	0.13	0.10	0.27
19 IC794	d	9.23	9.16	9.32	9.00	0.40	0.44	0.40	0.40
			0.06				0.32		
20 IC3303	d	9.72	9.64	9.80	9.80	-0.83	-0.65	-1.03	-1.02
		0.08	0.10	0.14	0.14	0.10	0.25	0.27	0.26

Tabla 5.7: (continuación)

Galaxia	T	Log edad (años)				Metalicidad				
		Mg ₂ Δ	⟨Fe⟩ Δ	[MgFe] Δ	[MgFe]′ Δ	Mg ₂ Δ	⟨Fe⟩ Δ	[MgFe] Δ	[MgFe]′ Δ	
21	IC3331	d	9.81	9.33	9.50	9.54	−1.44	−0.05	−0.63	−0.69
			0.13	0.15	0.20	0.28	0.34	0.55	0.49	0.49
22	IC3363	d	9.81	9.57	9.69	9.71	−1.05	−0.52	−0.78	−0.81
			0.23	0.15	0.22	0.21	0.34	0.47	0.41	0.37
23	IC3393	d	9.84	9.77	9.90	9.89	−0.63	−0.46	−0.79	−0.78
			0.22	0.18	0.18	0.19	0.15	0.20	0.21	0.17
24	IC3443	d	9.22	9.24	9.15	9.00	0.12	0.09	0.40	0.40
			0.08	0.10			0.24	1.73		
25	IC3457	d	9.93	9.83	9.75	9.71	−1.70	−1.19	−0.95	−0.87
				0.46	0.27	0.28		0.73	0.56	0.53
26	IC3475	d	9.49	9.45	9.48	9.49	−0.04	−0.07	−0.30	−0.31
			0.31	0.25	0.47	0.25	0.55	0.68	0.60	0.59
27	IC3492	d	9.11	9.03	9.06	9.07	−1.45	−0.56	−0.97	−0.98
			0.06	0.05	0.05	0.02	0.80	0.59	0.51	0.45
28	UGC7436	d	9.86	9.87	9.86	9.88	−0.54	−0.58	−0.55	−0.59
			0.21	0.18	0.20	0.30	0.12	0.23	0.18	0.19
31	VCC779	d	8.00	8.79			−0.13	0.30		
			0.31	0.22			1.46	1.56		
32	VCC810	d			9.24	9.34			−0.19	−0.68
					0.29	0.49			1.94	1.49
33	VCC815	d	9.30	9.29	9.18	9.40	−1.43	−1.28	−2.00	−2.00
			0.24	0.22			0.49	1.14		
34	VCC823	d	9.57	9.34	9.33	9.24	−0.87	−0.26	−0.17	0.08
			0.21	0.12	0.13	0.20	0.35	0.56	0.45	0.41
36	VCC833	d	9.41	9.89	9.76	9.71	−0.15	−1.40	−0.98	−0.86
			0.40	0.35	0.42	0.33	0.28	1.10	1.06	0.85
39	VCC846	d	10.26	9.89	9.98	9.99	−1.10	−0.30	−0.58	−0.62
				0.28	0.70	0.41		0.69	0.53	0.52
40	VCC854	d	9.87	9.48			−1.33	−0.39		
			0.27	0.27			0.31	0.75		
41	VCC871	d	10.13	10.26	10.30	10.30	−0.92	−1.10	−1.50	−1.60
			0.44				0.17			
46	VCC916	d	9.60	9.54	9.54	9.53	0.19	0.32	0.29	0.35
			0.20	0.08	0.10	0.10	0.08	0.21	0.19	0.20
48	VCC1035	d	9.62	9.52	9.65	9.64	−1.14	−0.88	−1.22	−1.19
			0.09	0.14	0.10	0.10	0.32	0.53	0.50	0.47
50	VCC1059	d		9.10	9.00	9.09		−0.60	−0.07	−0.53
				0.69	0.41	0.14		1.84	1.94	1.95
51	VCC1148	c	9.30	9.77	9.58	9.53	0.40	0.02	0.24	0.36
				0.21	0.24	0.12		0.17	0.15	0.18
52	VCC1353	d	9.90	9.71	9.67	9.74	−1.70	−0.92	−0.87	−1.00
				0.49	0.40	0.35		1.38	0.76	0.78
55	VCC1491	d	9.08	9.08	9.08	9.00	0.40	0.40	0.40	0.30
56	VCC1539	d		9.18				−0.12		
				0.50				1.94		
57	VCC1627	c	9.77	9.76	9.77	9.78	−0.07	−0.05	−0.07	−0.08
			0.16	0.13	0.15	0.15	0.20	0.16	0.13	0.13

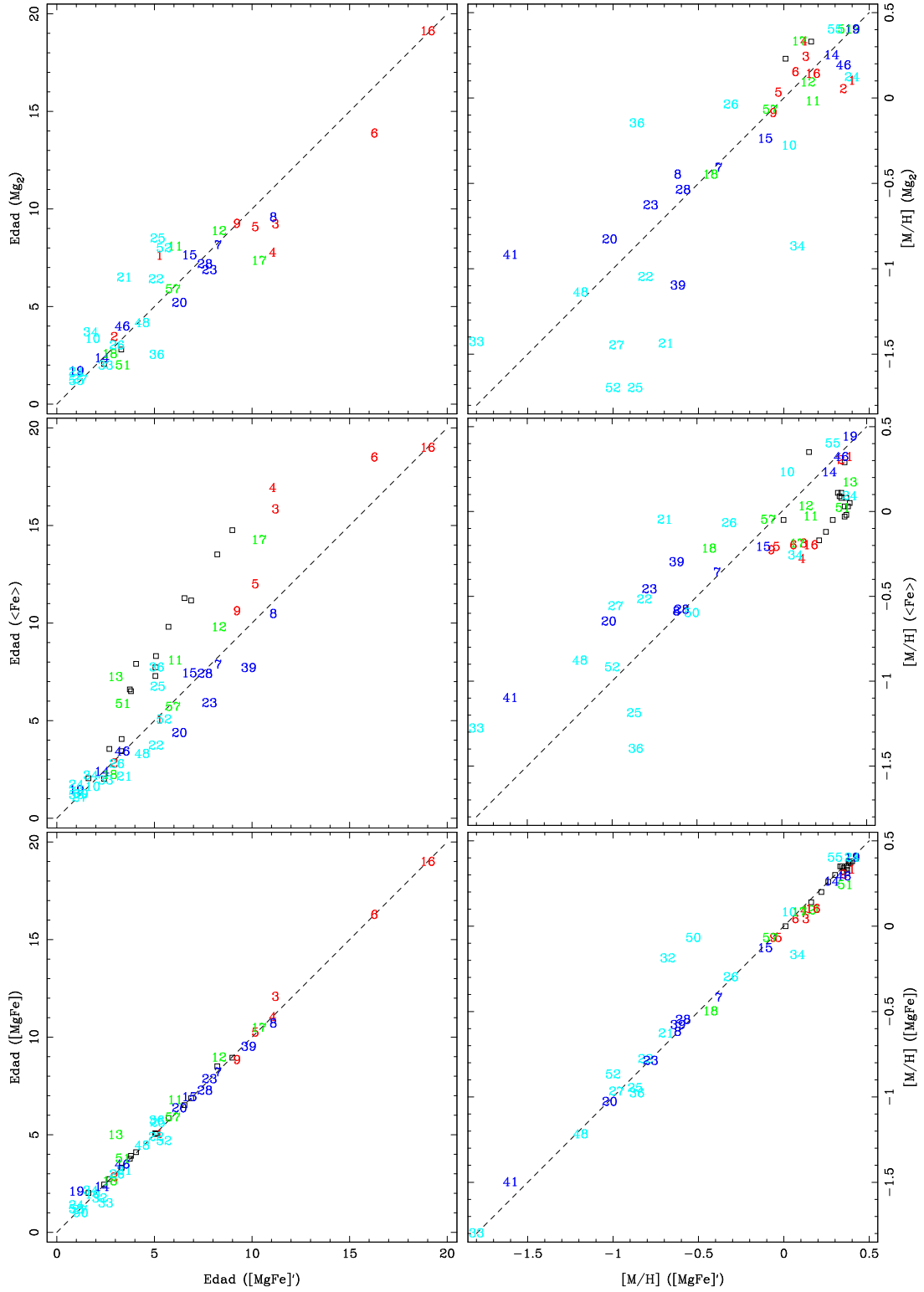


Figura 5.10: Comparación de las edades (paneles de la izquierda) y metalicidades (paneles de la derecha) obtenidas con los índices $H\beta$ y Mg_2 , $\langle Fe \rangle$ ó $[MgFe]$ frente a las obtenidas con $H\beta$ y $[MgFe]'$. Se identifican las galaxias con la numeración de la tabla 5.7, con color rojo las gigantes, verde las compactas y azules las enanas. Los cuadrados negros son elípticas gigantes de la muestra de González.

y metalicidades obtenidas con los distintos índices. Respecto a las elípticas enanas (números azules, claros y oscuros) es claro que, independientemente de los índices utilizados, los valores de edad y metalicidad obtenidos, son bastante coincidentes. Esto se puede interpretar como que las abundancias relativas de distintos elementos son muy similares a las de la vecindad solar, que es la que se ha utilizado para confeccionar los modelos. También se desprende de estas gráficas que la dispersión en la comparación es debida principalmente a los errores en las medidas de los índices, ya que es la submuestra de enanas con medidas de menor calidad la que muestra una mayor dispersión.

En contraste con las enanas, las compactas (verde) y gigantes (rojo) sí que muestran marcadas diferencias en los distintos paneles. Por ejemplo, el utilizar el $\langle \text{Fe} \rangle$ como índice metálico, en lugar del $[\text{MgFe}]'$ nos lleva a obtener sistemáticamente edades mayores ($\Delta \text{edad} \sim 3\text{-}4$ Gaños) y metalicidades menores ($\Delta [\text{M}/\text{H}] \sim 0.2\text{-}0.3$). Sin embargo, los valores obtenidos con el Mg_2 son muy similares a los calculados con $[\text{MgFe}]'$.

5.4.3. Edades y metalicidades promedio

Se ha llevado a cabo un análisis estadístico de las edades y metalicidades medidas en los distintos tipos de galaxias y con los cuatro índices metálicos. Para ello se han calculado los valores medios de edad y metalicidad, la dispersión respecto de estos valores medios, la dispersión esperada a partir de los errores individuales, la dispersión residual no explicada por los errores en las medidas. Todos estos valores, junto con algunos estadísticos, se muestran en la tabla 5.8. En la figura 5.11 se representan los histogramas de las edades y metalicidades obtenidas para las elípticas enanas a partir de $\text{H}\beta$ y cada uno de los cuatro índices metálicos. En esta figura también se muestran los valores medios, si bien estos, por estar pesados con los errores, no coinciden con los máximos de los histogramas. Hay que considerar que un mismo error en el índice $\text{H}\beta$ conlleva un mayor error en edad para las galaxias más viejas, tal y como se aprecia en la propia estructura de la malla de las predicciones de los modelos de síntesis de poblaciones. De aquí que, los valores medios de edad sean menores que lo que muestra la distribución de cada histograma. Las metalicidades medias calculadas tampoco coinciden exactamente con los histogramas y son ligeramente más altas por tener errores menores las elípticas enanas de la muestra con mayor metalicidad. De este análisis se pueden extraer varias conclusiones:

- Las galaxias elípticas enanas son significativamente más jóvenes que las gigantes, independientemente del índice metálico utilizado para obtener estos parámetros a partir de los modelos de síntesis de poblaciones. Las elípticas compactas presentan valores intermedios de edad entre las enanas y las gigantes.

Tabla 5.8: Comparación de los valores medios de edad y metalicidad de las galaxias elípticas enanas, compactas y gigantes de la muestra de este trabajo. N: número de galaxias empleadas para hacer la media; $\langle \log e \rangle$: media del logaritmo de la edad expresada en Gigaños; $\sigma(e)$: dispersión respecto de la edad media (en logaritmo); σ_{esp} : dispersión esperada por errores; σ_{res} : dispersión residual no explicada por errores; $\alpha(e)$: nivel de significación obtenido en un test χ^2 con el cual se puede rechazar la hipótesis $\sigma(e) = \sigma_{\text{esp}}$; z : estadístico para comparar los valores medios de las compactas y gigantes con los de las enanas. En la parte derecha se presentan los valores del mismo análisis para la metalicidad.

	N	Edad						Metalicidad					
		$\langle \log e \rangle$	$\sigma(e)$	σ_{esp}	σ_{res}	$\alpha(e)$	z	$\langle [M/H] \rangle$	$\sigma([M/H])$	σ_{esp}	σ_{res}	$\alpha([M/H])$	z
$H\beta - \text{Mg}_2$													
dE	21	9.45	0.31	0.12	0.29	4.1 e−19		−0.370	0.440	0.162	0.409	1.4 e−21	
cE	5	9.54	0.24	0.08	0.22	9.0 e−08	0.33	0.002	0.354	0.154	0.319	0.0003	1.04
gE	8	9.98	0.16	0.08	0.14	1.5 e−04	2.52	0.112	0.144	0.061	0.131	1.5 e−06	1.79
$H\beta - \langle Fe \rangle$													
dE	26	9.33	0.26	0.11	0.24	8.3 e−17		−0.213	0.362	0.286	0.223	0.0028	
cE	7	9.67	0.37	0.08	0.36	2.2 e−27	1.06	−0.105	0.133	0.112	0.071	0.2100	0.45
gE	6	9.96	0.26	0.06	0.25	6.4 e−20	2.74	−0.136	0.233	0.084	0.218	2.4 e−07	0.29
$H\beta - [\text{MgFe}]$													
dE	21	9.42	0.31	0.14	0.27	5.7 e−13		−0.219	0.410	0.214	0.350	4.7 e−08	
cE	6	9.57	0.26	0.08	0.24	1.0 e−08	0.52	−0.006	0.238	0.095	0.218	8.3 e−06	0.70
gE	7	9.94	0.21	0.06	0.21	1.1 e−15	2.22	0.049	0.110	0.064	0.090	0.0066	1.01
$H\beta - [\text{MgFe}]'$													
dE	21	9.18	0.25	0.08	0.23	2.7 e−28		−0.240	0.437	0.215	0.380	1.3 e−09	
cE	6	9.44	0.09	0.02	0.09	2.7 e−13	1.13	0.093	0.136	0.105	0.086	0.1356	0.98
gE	7	9.82	0.19	0.04	0.19	1.4 e−25	2.41	0.031	0.120	0.057	0.106	0.0002	0.95

- La metalicidad de las elípticas enanas es claramente menor que la de las gigantes, pero la diferencia es menos significativa que para las edades. La metalicidad que se obtiene con el índice $\langle \text{Fe} \rangle$ para las enanas es coincidente con el que se obtiene a partir de $[\text{MgFe}]$ y $[\text{MgFe}]'$, índices poco afectados por las abundancias relativas de los elementos. Esto contrasta con lo que ocurre para las elípticas gigantes y compactas para las cuales se obtiene una metalicidad significativamente menor con $\langle \text{Fe} \rangle$. Esta dicotomía refleja las diferencias en el cociente Mg/Fe entre ambas familias.
- Las dispersiones respecto de la edad y la metalicidad medias, para las elípticas enanas, son claramente mayores que las que se esperarían a partir de los errores de las medidas, tal y como se desprende de los pequeños valores de los niveles de significación. Esto indica que existe una importante dispersión real entre las edades y metalicidades de las galaxias enanas.

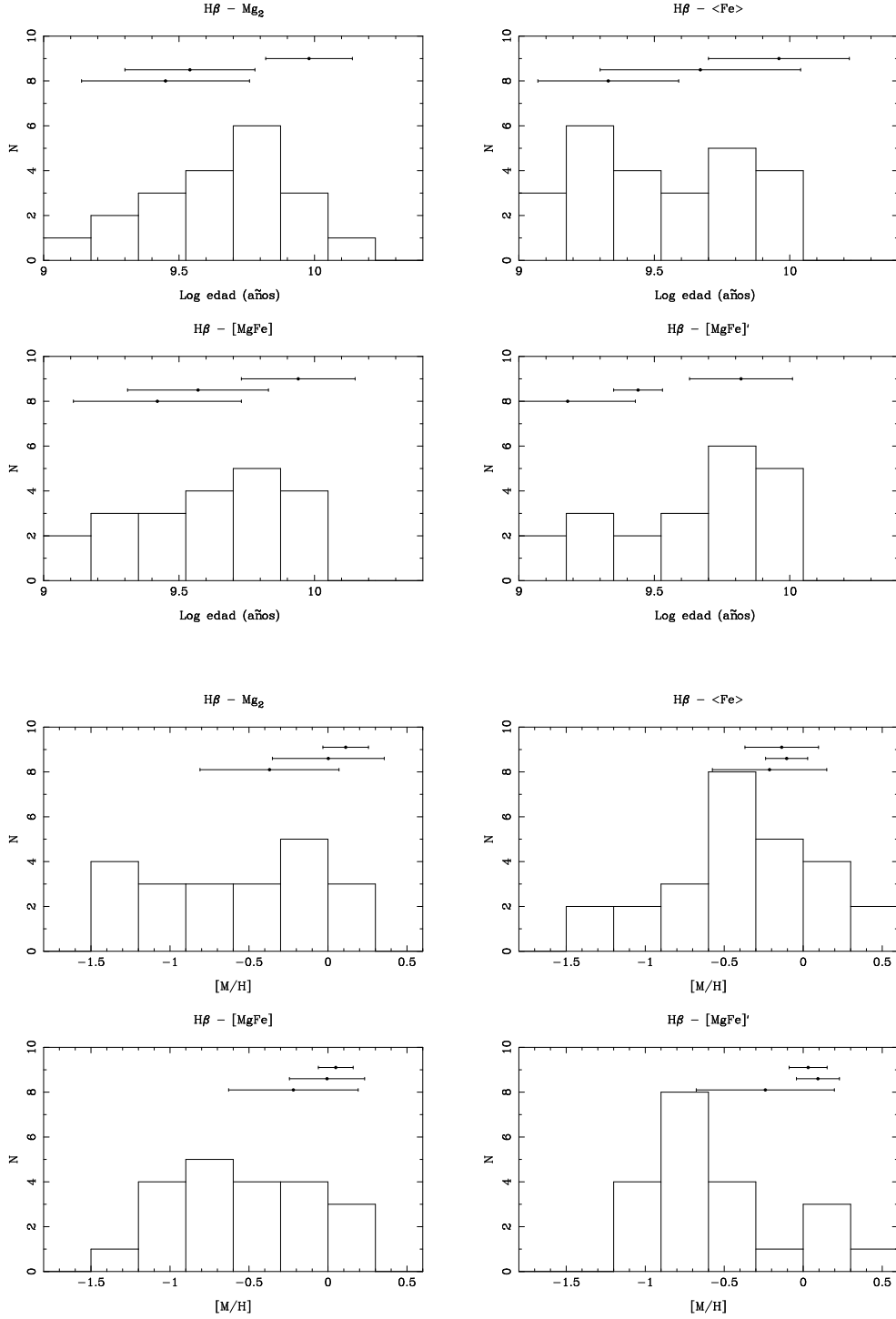


Figura 5.11: Histogramas de la edad (4 paneles superiores) y metalicidad (4 paneles inferiores) de las galaxias elípticas enanas de la muestra, obtenidos con $H\beta$ y cada uno de los índices metálicos que se indican. Las barras horizontales muestran los valores promedio y la dispersión de las submuestras de gigantes, compactas y enanas, en orden descendente (ver tabla 5.8).

5.4.4. La relación edad–metalicidad

Continuando con el análisis de estos dos parámetros, en la figura 5.12 se representan la edad frente a la metalicidad obtenidas con los distintos índices. La posición de los números indica los valores obtenidos con $H\beta$ y $\langle Fe \rangle$, que es el par de índices que nos permiten medir la edad y metalicidad para un mayor número de galaxias. Se sigue con el mismo código de colores para diferenciar los distintos tipos de galaxias. La muestra de González (1993) está representada por los cuadrados negros. Para incluir también los valores obtenidos con otros índices, se ha unido con una línea de puntos la posición obtenida al utilizar $\langle Fe \rangle$ con la calculada al utilizar Mg_2 , cuando ha sido posible para esa galaxia. Igualmente se ha unido con línea de trazos la obtenida con $[MgFe]$ y con línea continua la de $[MgFe]'$.

En esta figura queda reflejada la anticorrelación existente entre edad y metalicidad $\partial \log t / \partial \log [M/H] \sim -3/2$ para las elípticas gigantes (Trager et al. 2000b, Sánchez-Blázquez 2004). Se aprecia también como las gigantes y compactas (con la excepción de IC 767) de la muestra se ajustan a esta relación. Se comprueba igualmente que el utilizar $\langle Fe \rangle$ lleva a obtener, en general, edades mayores y metalicidades menores para este tipo de galaxias.

Sin embargo, para las elípticas enanas se encuentra un comportamiento claramente diferenciado. Lo más evidente es que estas ocupan un amplio rango en metalicidades, excediendo los límites de los modelos, como ya quedó reflejado en las figuras 5.7 y 5.9, a diferencia de las gigantes que se restringen a una metalicidad próxima a la solar y superior. En cuanto a la edad, parece como si la mayoría de las enanas tuvieran edades inferiores a los 10 Gigaños. Sin embargo hay que tener en cuenta que hay 9 elípticas enanas en la muestra para las que no se han podido medir estos parámetros por tener valores de $H\beta$ inferiores a los predichos por los modelos para las poblaciones más viejas.

Antes de considerar posibles relaciones entre la edad y/o metalicidad con otros parámetros globales de las galaxias, como la magnitud absoluta o la dispersión de velocidades, hay que examinar como afectan, tanto la propia degeneración de los modelos como los errores en las medidas de los índices, a las tendencias aparentes de la figura 5.12.

En la figura 5.13 puede comprobarse como varían los errores en las edades y metalicidades derivadas (aún teniendo los mismos errores en los índices) en función de la zona de la malla de los modelos en la que se sitúe la galaxia. En esta figura se han representado en ocho zonas representativas (es decir para ocho pares de valores de $H\beta$ y Mg_2) la edad y metalicidad obtenidas al interpolar en los modelos de Vazdekis (1999). En las ocho diferentes posiciones se han dibujado en rojo los elipses de errores correspondientes a los errores típicos de los índices para las elípticas gigantes de la muestra (0.06 y 0.006 para $H\beta$ y Mg_2 respectivamente), en verde los elipses correspondientes a las compactas (0.10 y 0.016) y en azul las correspondientes a la submuestra de enanas de mejores datos (0.16 y 0.011). No se han incluido las la otra submuestra de enanas (azul claro en las demás gráficas) por ser demasiado

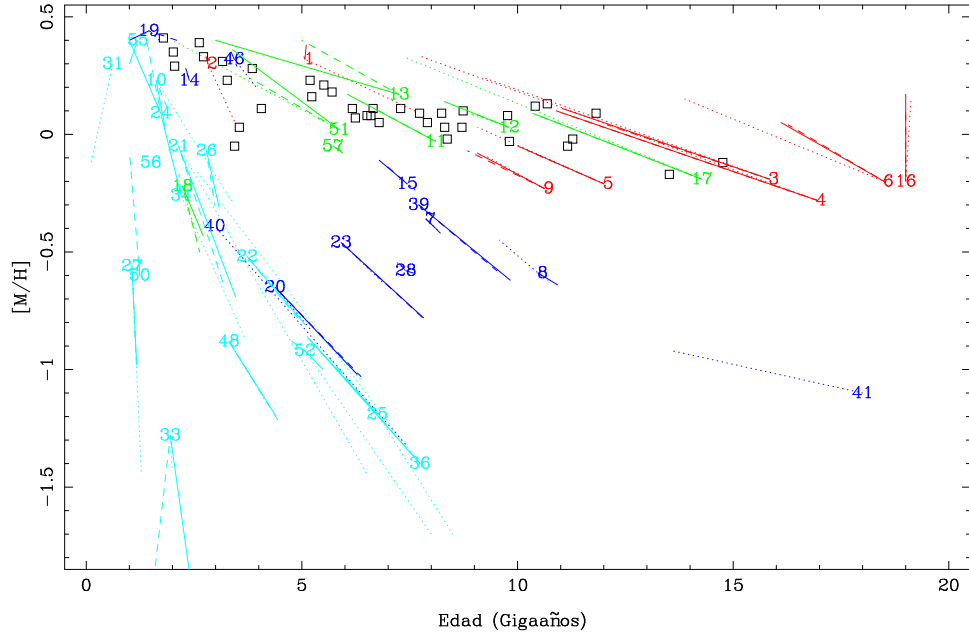


Figura 5.12: Diagrama edad–metalicidad obtenidos con $H\beta$ y diferentes índices metálicos. La posición de los números indica la edad y metalicidad obtenidos, para las correspondientes galaxias, con el índice $\langle Fe \rangle$. Dicha posición se une con línea de puntos con la que se obtiene para la misma galaxia al utilizar Mg_2 ; con línea de trazos se une con la obtenida con $[MgFe]$ y con línea continua con la de $[MgFe]'$. Los cuadrados negros corresponden a la muestra de González (1993).

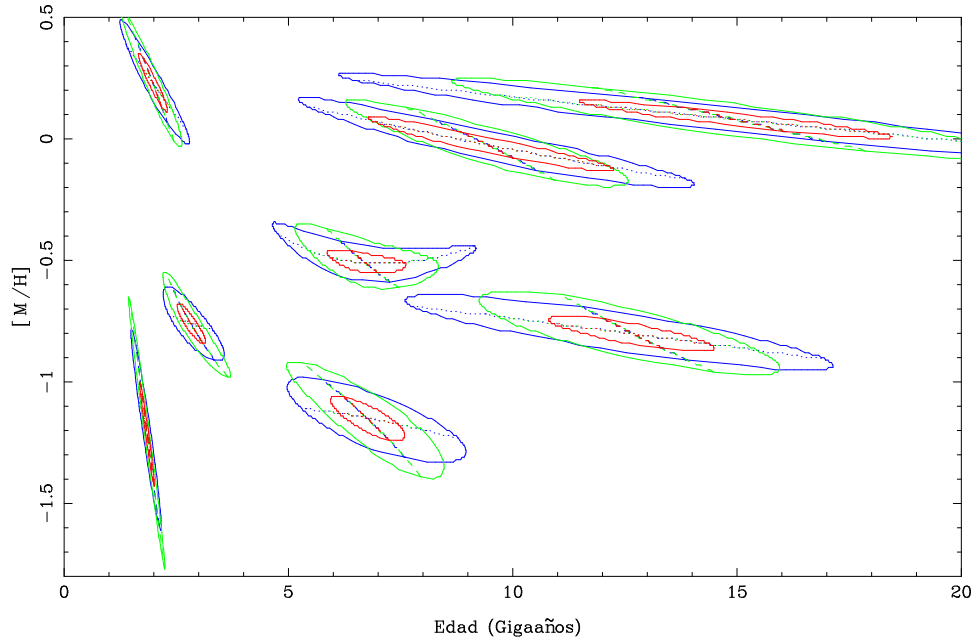


Figura 5.13: Variación de los errores en edad y metalicidad según la zona de los modelos. Ver descripción en el texto.

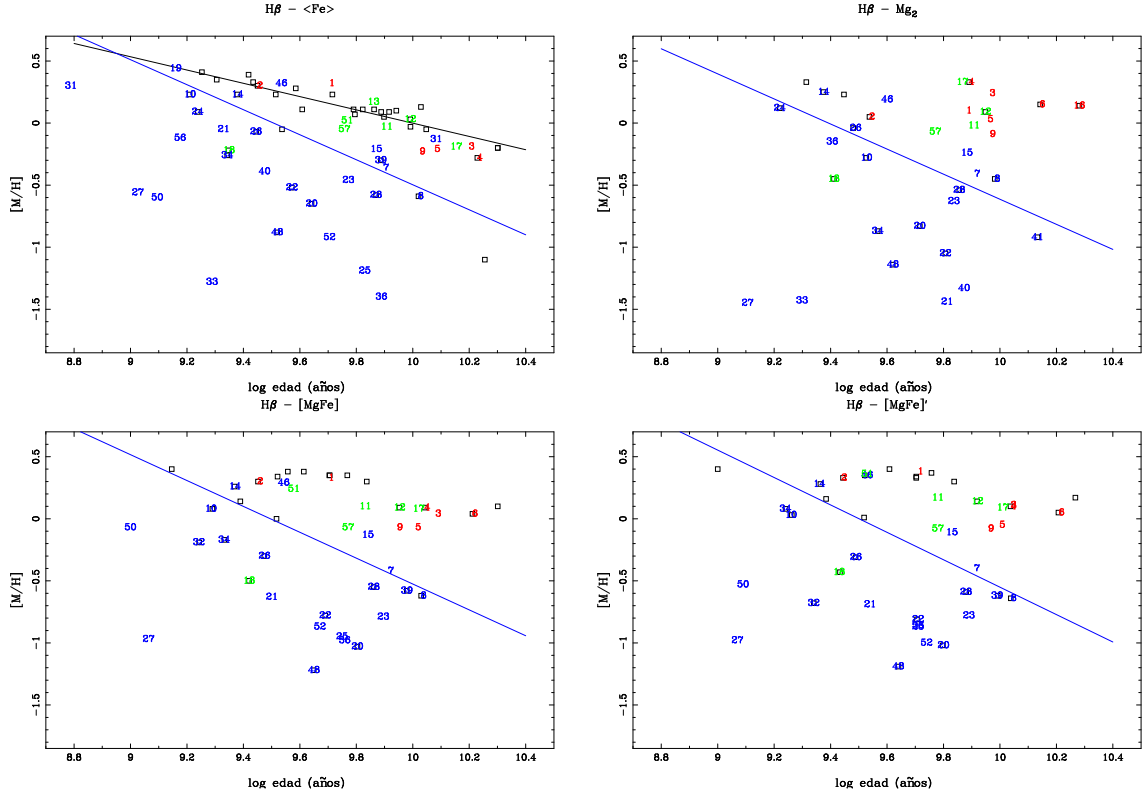


Figura 5.14: Diagramas edad–metalicidad. En cada panel se representan la edad y metalicidad obtenidas con los modelos de Vazdekis (1999), a partir de $H\beta$ y cada uno de los índices metálicos $\langle Fe \rangle$, Mg_2 , $[MgFe]$ y $[MgFe]'$. Las cuatro rectas indican el ajuste lineal a la muestra de elípticas enanas. Con cuadrados negros se muestran las galaxias elípticas gigantes de González (1993) y con la línea continua, en el primer panel, su ajuste lineal.

grandes y restar claridad a la gráfica. Con la línea de trazos se indica el error procedente del índice metálico o eje X (Mg_2 en este caso, aunque el resultado es muy similar, tanto en orientación como en escala, para los otros tres índices utilizados). Con línea de puntos se identifica el error debido al error en $H\beta$ o eje Y.

Como se puede apreciar, los errores de cada uno de los dos índices utilizados tienen repercusión en ambos parámetros, edad y metalicidad, aunque con una importancia relativa que depende de la zona de la gráfica. El mayor inconveniente que se desprende de esta gráfica es que en una muestra de galaxias con edad y metalicidad homogéneas, los errores observacionales pueden producir una relación edad–metalicidad ficticia similar a la anticorrelación $-3/2$, tal y como han indicado algunos autores (Kuntschner y Davies 1998; Trager 1998). Sin embargo, hay que indicar que los errores en los índices de la muestra de González (1993) que se representa en la figura 5.12 son iguales o inferiores a los errores típicos de la submuestra de gigantes de este trabajo (elipses rojas de la figura 5.13). Por lo que, al extenderse dicha muestra en un rango de metalicidad y edad claramente mayor que la

Tabla 5.9: Pendientes de la relación edad–metalicidad ($b \pm \sigma(b)$). En la primera columna se indica la muestra de galaxias elípticas y el modelo de síntesis de poblaciones y en la segunda los índices utilizados. En la cuarta se muestra la dispersión residual respecto a la recta ajustada, y en la quinta se da el estadístico t de la comparación entre las pendientes de gigantes y enanas. La sexta columna muestra el coeficiente de correlación y la séptima su correspondiente nivel de significación.

Muestra	Índices	$b \pm \sigma(b)$	σ_{res}	t	r	α
gE: González(93) + Vazdekis(99)	$\text{H}\beta\text{--}\langle\text{Fe}\rangle$	-0.45 ± 0.06	0.09		-0.80	1.0 e-11
gE: González(93) + Worthey(94)	$\text{H}\beta\text{--}\langle\text{Fe}\rangle$	-0.58 ± 0.15				
gE: González(93) + Worthey(94)	$\text{H}\beta\text{--}[\text{MgFe}]$	-0.65 ± 0.21				
gE: Sánchez-B.(04)+Vazdekis(04)	$\text{H}\beta\text{--Fe4383}$	-0.59 ± 0.04				
dE: Este trabajo + Vazdekis(99)	$\text{H}\beta\text{--}\langle\text{Fe}\rangle$	-1.01 ± 0.49	0.31	1.13	-0.46	0.009
dE: Este trabajo + Vazdekis(99)	$\text{H}\beta\text{--Mg}_2$	-1.01 ± 0.66	0.42	0.84	-0.23	0.155
dE: Este trabajo + Vazdekis(99)	$\text{H}\beta\text{--}[\text{MgFe}]$	-1.04 ± 0.57	0.36	1.04	-0.39	0.040
dE: Este trabajo + Vazdekis(99)	$\text{H}\beta\text{--}[\text{MgFe}]'$	-1.10 ± 0.63	0.39	1.03	-0.29	0.105

correspondiente elipse de error, la anticorrelación edad–metalicidad ha de ser real, tal y como demuestran también Trager et al. (2000b) con esta misma muestra de galaxias. Sánchez–Blázquez (2004) ha confirmado igualmente la existencia de dicha relación edad–metalicidad con un análisis más detallado sobre su muestra de elípticas gigantes en entornos de baja densidad. Esta relación es difícil de entender a partir de la hipótesis de que las galaxias elípticas se formaron en un único episodio de formación estelar. Sin embargo, es predecible si, en su evolución, estas galaxias han sufrido brotes posteriores de formación estelar, ya que las estrellas mas jóvenes se formarían a partir de un gas cada vez más enriquecido.

Para mayor claridad, en la figura 5.14 se muestran de nuevo los diagramas edad–metalicidad obtenidos con $\text{H}\beta$ y con cada uno de los cuatro índices metálicos por separado. Como ya se ha comentado, las elípticas enanas muestran un rango más amplio en metalicidades, desde los valores típicos de las elípticas gigantes, similares a los de la vecindad solar y superiores, hasta $[\text{M}/\text{H}] \sim -1.5$. También en edad abarcan todo el rango que cubren los modelos, aunque con un sesgo hacia edades menores que las elípticas gigantes. Teniendo en cuenta que, según se mostró en la sección 5.4.3, dichas dispersiones son reales, estos resultados indican claramente que se puede rechazar la hipótesis de un origen común (a partir de un único brote de formación estelar) para todas las elípticas enanas. En esta figura se representa, en el primer panel y con línea continua negra, el ajuste de una recta a los valores de edad y metalicidad obtenidos para la muestra de elípticas gigantes de González (1993) con el modelo de síntesis de poblaciones de Vazdekis (1999). En los cuatro paneles se muestra, con línea continua azul, el ajuste (pesado con errores) de una recta

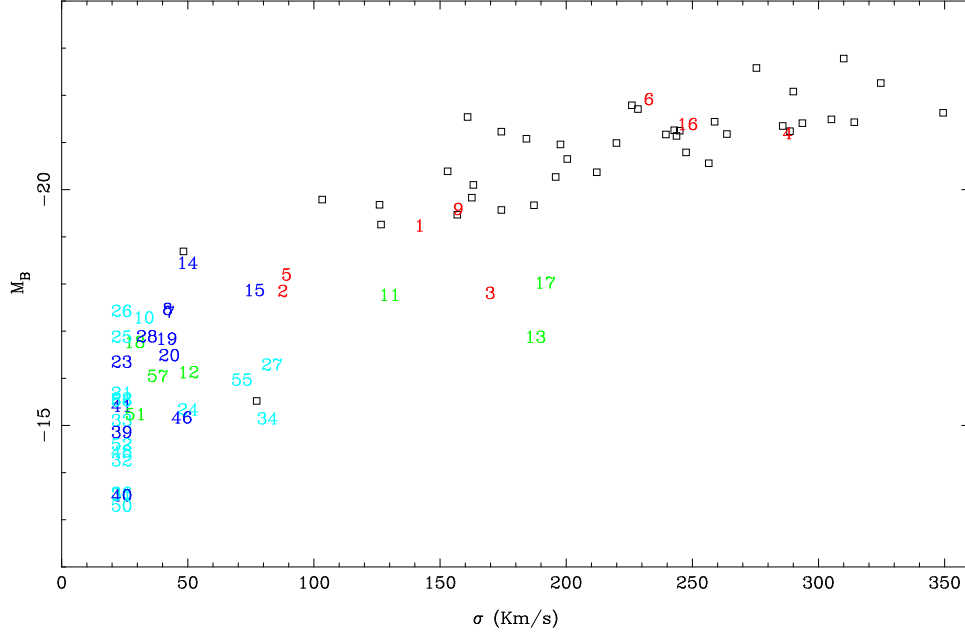


Figura 5.15: Magnitud absoluta frente a la dispersión de velocidades. Como en gráficas anteriores, se representa con cuadrados negros la muestra de elípticas gigantes de González (1993), con números rojos nuestras gigantes, verdes las compactas y azul para las enanas. Las galaxias enanas en las que no ha sido posible medir la dispersión de velocidades se representan a un valor fijo de 25 km/s.

a la muestra de elípticas enanas de este trabajo. Los parámetros de estos ajustes se muestran en la tabla 5.9. A diferencia de las elípticas gigantes, para las que la correlación edad–metalicidad es muy marcada ($\alpha = 1.0 \text{ e-}11$), para las enanas no es tan evidente ya que su nivel de significación es $\alpha = 0.009$ para los mismos índices y el mismo modelo. Si bien el valor de la pendiente $b = -0.45$ no se puede considerar universal, pues depende del modelo (para la misma muestra y con el modelo de Worthey(1994) $b = -0.58$) y de los índices utilizados (con $[\text{MgFe}]$ $b = -0.65$), se puede afirmar que las pendientes ajustadas a gigantes y enanas son distintas con un nivel de significación de 0.14 a partir del estadístico $t = 1.13$. Sin embargo lo que no se puede afirmar tan claramente es que realmente exista una anticorrelación edad–metalicidad para las elípticas enanas. Pues aunque si reflejan una tendencia en el sentido de ser más metálicas las más jóvenes, las probabilidades de correlación son mucho menores que para las gigantes tal y como indican sus niveles de significación α (ver tabla 5.9).

5.4.5. Relaciones con la dispersión de velocidades

Después de analizar la existencia de la relación edad–metalicidad, para las elípticas gigantes y comprobar que el comportamiento de las dEs es claramente

diferenciado, se estudian a continuación las posibles relaciones de la edad y la metalicidad con los parámetros estructurales.

Como ya se ha comprobado, las elípticas enanas muestran una amplia dispersión tanto en edad como en metalicidad. Este hecho, que parcialmente es debido a los propios errores observacionales, dificulta el análisis de otras correlaciones y por lo tanto es conveniente elegir el más robusto de los parámetros estructurales. Las galaxias elípticas se distribuyen en un *Plano Fundamental* (Bender, Burstein y Faber 1992), en el que enanas y gigantes cubren diferentes zonas debido a la diferente relación del radio efectivo y del brillo superficial con la dispersión de velocidades. En la figura 5.15 se representa la correlación de la magnitud absoluta con la dispersión de velocidades central para las galaxias de la muestra. En esta sección se estudiarán las relaciones de la edad y la metalicidad con la dispersión de velocidades y la magnitud absoluta.

En las figuras 5.16 y 5.17 se muestran, frente a la dispersión de velocidades y frente a la magnitud absoluta respectivamente, los valores de edad y metalicidad obtenidos con los modelos de Vazdekis (1999) tanto para la muestra de elípticas gigantes de González (1993), como para las gigantes, compactas y enanas de la muestra estudiada en este trabajo. Se representan también, con el mismo código de colores, los errores típicos de cada submuestra.

A partir de estas figuras es difícil mantener la idea de que las galaxias elípticas se formaron en un colapso monolítico y que sus poblaciones estelares proceden de un único brote (Larson 1974; Arimoto y Yoshii 1987). Este escenario establece que las elípticas más masivas (mayores σ) son más capaces o más eficientes para retener el gas enriquecido frente a los vientos de supernovas y por tanto debería encontrarse una relación masa-metalicidad. Pero no es esto lo que se observa en las figuras, ya que en el rango en metalicidad cubierto por las elípticas gigantes no se muestra una tendencia definida con la dispersión de velocidades. Sánchez-Blázquez (2004), sin embargo, sí encuentra relación entre σ y la metalicidad, pero únicamente cuando esta se estima a partir del Mg y no con el Fe, por lo que el análisis se debería dirigir hacia el estudio de abundancias relativas entre elementos, lo cual está fuera del alcance de esta memoria. En lo que respecta a las elípticas enanas, se observa que estas presentan una gran variedad en metalicidad, tanto valores mucho menores como coincidentes con el rango ocupado por las gigantes. Es interesante resaltar que la metalicidad tan baja alcanzada por algunas elípticas enanas (no explicada por los errores en muchos casos) sugiere que los mecanismos que detienen el enriquecimiento (como los vientos de supernovas) se pueden hacer efectivos por debajo de una dispersión de velocidades ~ 100 , aunque no parecen muy decisivos para σ mayores. Se ha de tener en cuenta también que la metalicidad obtenida está pesada con la luminosidad y, por tanto, brotes posteriores tendrán un marcado efecto sobre ella. Realmente, en estas figuras se puede apreciar que las elípticas gigantes muestran una tendencia con la edad, en el sentido de que las más masivas son más viejas (ver Sánchez-Blázquez, 2004). Esto sería compatible con un escenario en el que las gigantes con mayores σ han sido más eficientes en la formación estelar y, en cambio,

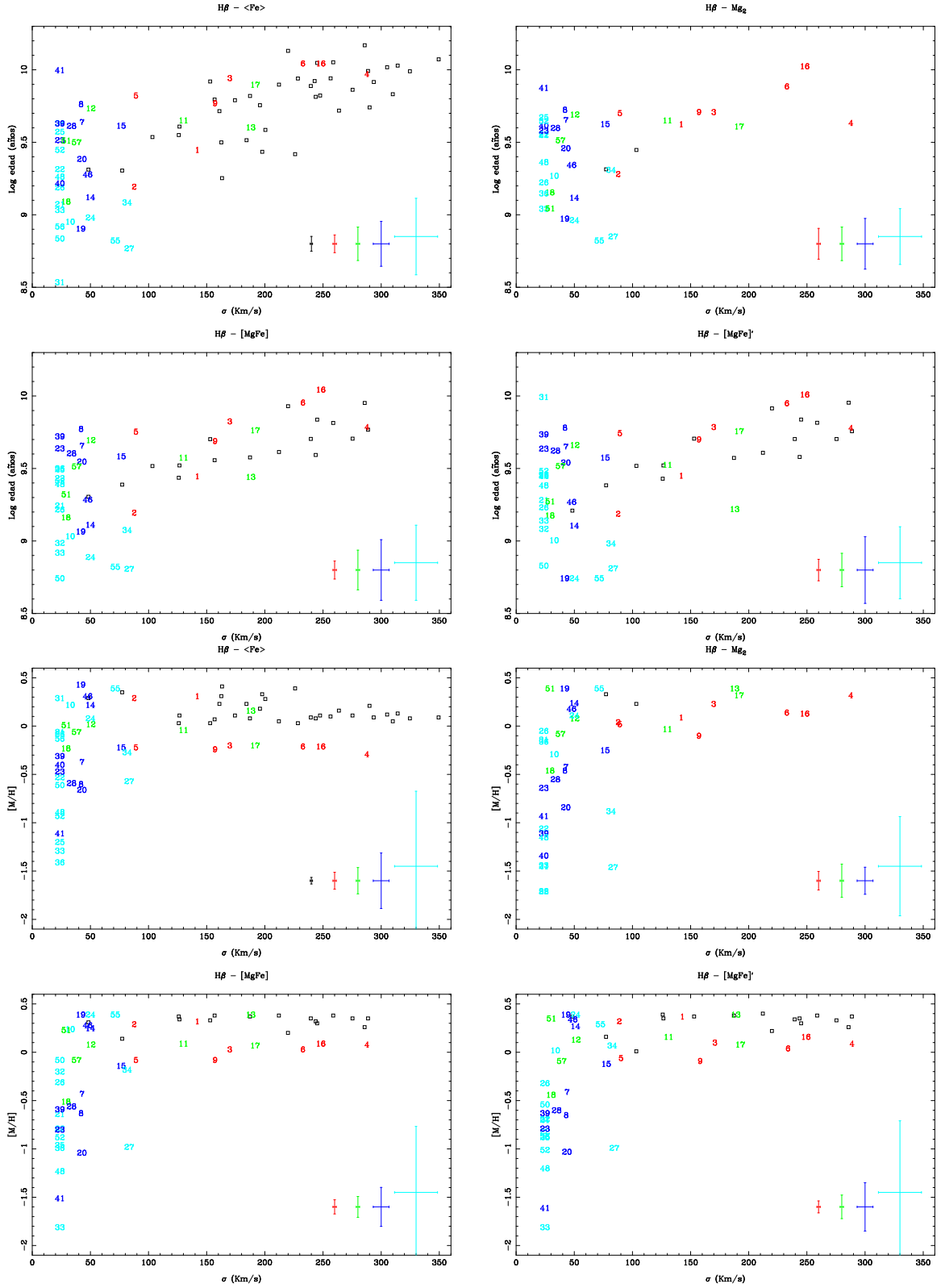


Figura 5.16: Edad (cuatro paneles de arriba) y metalicidad (los cuatro de abajo), obtenidos con los modelos de Vazdekis (1999), frente a la dispersión de velocidades para la muestra de elípticas gigantes de González (1993) (cuadrados negros) y para las gigantes (rojo), compactas (verde) y enanas (azul) de este trabajo. Con los mismos colores se indican los errores típicos de cada submuestra.

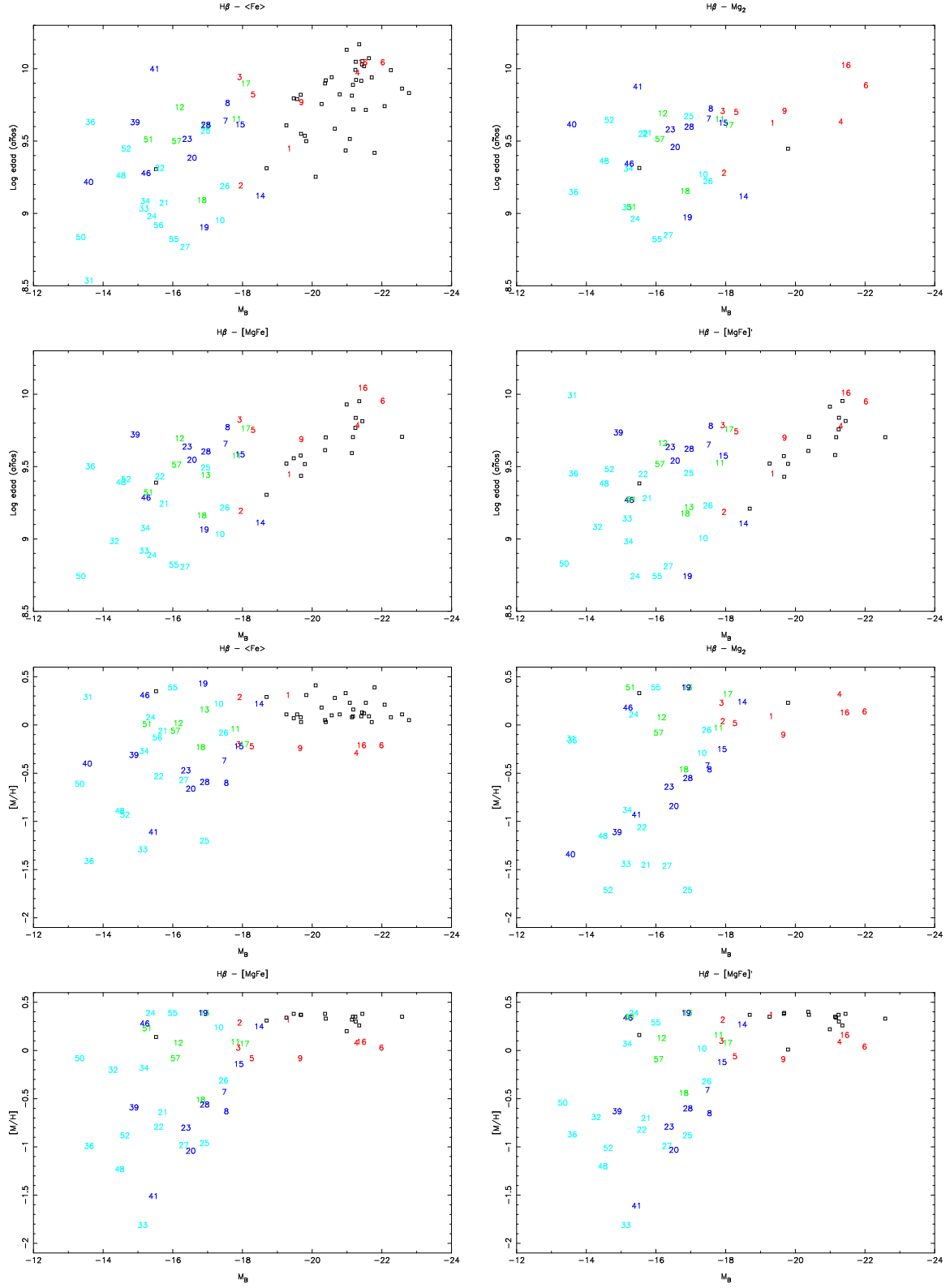


Figura 5.17: Edad (cuatro paneles de arriba) y metalicidad (los cuatro de abajo), obtenidos con los modelos de Vazdekis (1999), frente a la magnitud absoluta.

Tabla 5.10: Comparación de la metalicidad medida, con los índices $H\beta$ y $\langle Fe \rangle$, frente a la esperada para los distintos tipos de galaxias elípticas (ver fig. 5.18). dE(1) son las elípticas enanas con medidas de índices de mayor calidad y por tanto menor error en las metalicidades calculadas. dE(2) es la submuestra de enanas con errores mayores. La desviación media (Δ) se calcula como la metalicidad esperada, a partir de la relación obtenida con las 38 elípticas gigantes de González (1993), menos la medida.

	N	Δ	σ	t
gE	8	-0.04	0.29	0.36
cE	7	-0.08	0.44	0.49
dE(1)	12	-0.03	0.26	0.41
dE(2)	16	0.33	0.84	1.58
González(1993)	38	0.00	0.13	

esta se ha producido de forma más prolongada en las menos masivas, dando lugar a las diferencias en las abundancias relativas. Aunque otro escenario posible, y más simple, es que las elípticas menos masivas han podido sufrir posteriores brotes de formación estelar. En cualquier caso, de nuevo las enanas muestran un comportamiento claramente diferenciado, cubriendo un amplio rango en edad y, por lo tanto, rompiendo aparentemente la anticorrelación edad- σ .

5.4.6. El plano edad–metalicidad– σ

Continuando con la intención de examinar estos parámetros en las elípticas enanas, por comparación con lo que se obtiene para las gigantes, se ha llevado a cabo un análisis similar al realizado por Trager (2000b) para un grupo de cincuenta elípticas gigantes (la muestra de González más otra submuestra del cúmulo de Fornax observada por Kuntschner 1998). Este autor encuentra que la dispersión de velocidades es el único parámetro estructural que realmente modula la población estelar. Ya que otros parámetros como el brillo superficial o el radio efectivo (aunque están relacionados con σ mediante el Plano Fundamental) no ayudan a obtener una predicción más precisa de los valores de edad o metalicidad. Su principal aportación es que cuando se representan en el espacio de tres dimensiones definido por la dispersión de velocidades, la edad y la metalicidad, las elípticas gigantes se localizan en el plano $[M/H] = 0.76 \log \sigma - 0.73 \log t - 0.87$, con una dispersión de los residuos de solo 0.09 en $[M/H]$.

Como no se pueden comparar directamente nuestras medidas con este plano, ya que se están utilizando distintos modelos de síntesis de poblaciones, se ha optado por repetir sus cálculos pero con las edades y metalicidades que se obtienen con los modelos de Vazdekis (1999) para las elípticas gigantes de González. Se ha buscado el plano que minimiza la suma de las distancias a él de los puntos que representan la dispersión de velocidades, edad y metalicidad medidos en las elípticas gigantes. Des-

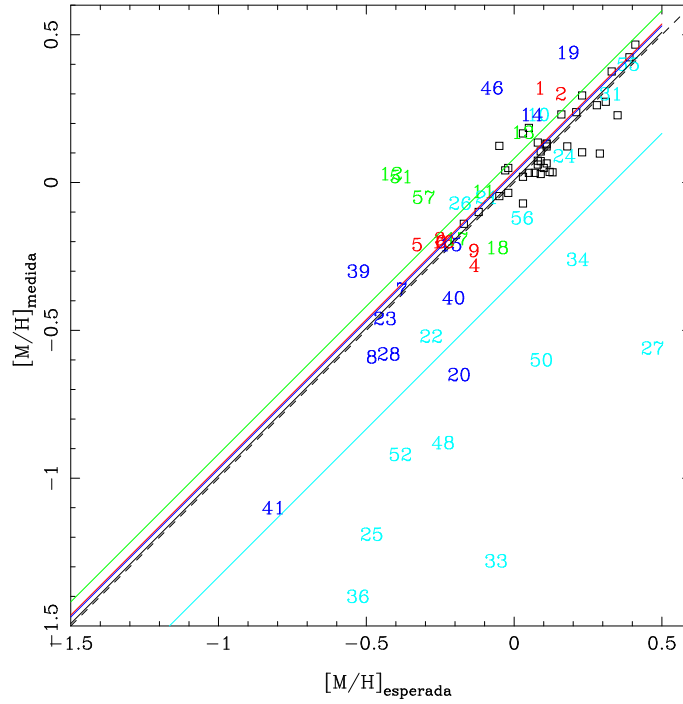


Figura 5.18: Metalicidad esperada según el plano ajustado para las gigantes (ver texto) frente a la medida.

pués de comprobar que con nuestro código y los datos iniciales de Trager obtenemos los mismos coeficientes y dispersión en los residuos que con el suyo (Kelson et al. 1997), el plano obtenido para las 38 elípticas gigantes, con la edad y metalicidad calculada a partir de los índices $H\beta$ y $\langle Fe \rangle$, es:

$$[M/H] = 0.61 \log \sigma - 0.78 \log t - 0.69$$

con una dispersión de 0.08 y errores en los coeficientes de 0.11, 0.07 y 0.24, respectivamente. Aunque hubiera sido preferible utilizar $H\beta$ y $[MgFe]'$, para evitar en lo posible las diferencias procedentes de las distintas abundancias relativas de elementos, tal y como se ha comentado anteriormente, la cantidad de galaxias para las que se podría calcular edad y metalicidad a partir de estos índices sería muy escasa (ver figuras 5.16 y 5.17), por lo cual los cálculos se llevaron a cabo con las edades y metalicidades obtenidas con los índices que permiten tener una muestra más amplia ($H\beta$ y $\langle Fe \rangle$).

Una vez que se ha calculado el plano que mejor se ajusta a las elípticas gigantes de la muestra de González, puede compararse la metalicidad medida en las galaxias de nuestra muestra, con la que se esperaría según dicho ajuste para su edad y dispersión de velocidades. Esta comparación se muestra en la figura 5.18. En la tabla 5.10 se indica, para los distintos tipos de galaxias elípticas, la desviación media, pesada con errores, frente a la relación 1:1, la dispersión (σ) y el estadístico t . Como era de esperar, la metalicidad medida en las elípticas gigantes de la muestra (números

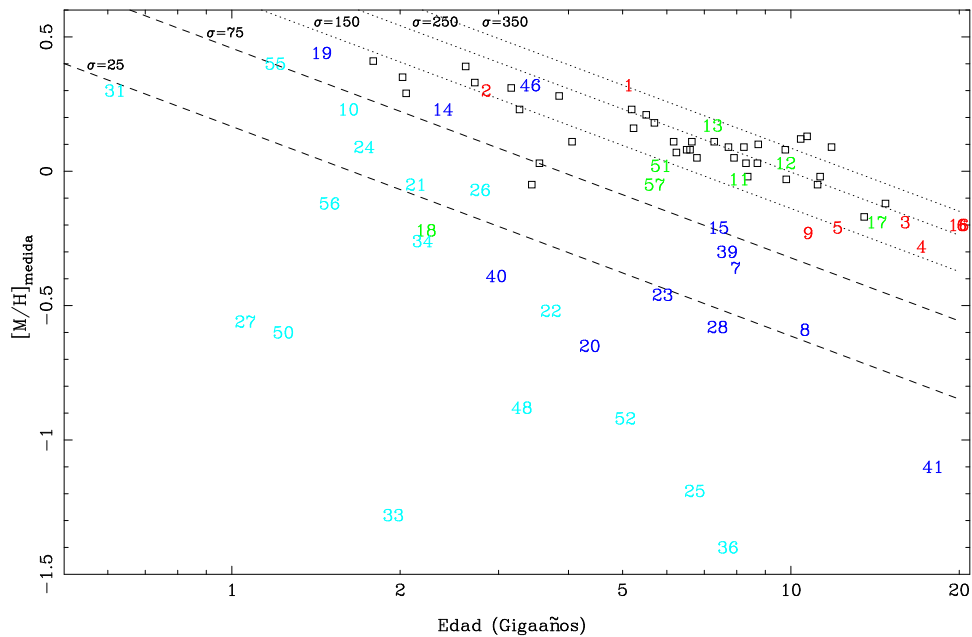


Figura 5.19: Metalicidad frente a edad medidas en las galaxias. Las líneas representan las proyecciones del plano ajustado para las dispersiones de velocidades indicadas.

rojos) coincide, considerando su dispersión, con la prevista por el plano ajustado ($t = 0.36$). Las compactas (números verdes) muestran una desviación ligeramente mayor, pero tampoco es significativa ($t = 0.49$). De entre las enanas se diferencian de nuevo las que tienen medidas de mayor calidad (azul oscuro) de las que tienen errores mayores (azul claro) y se encuentra que la metalicidad medida para las primeras coincide también con la esperada. Sin embargo, para las otras la desviación media es claramente mayor y, aunque también lo es su dispersión, la diferencia tiene un nivel de significación de 0.07 ($t = 1.58$) por lo que no es claramente significativa. Por lo tanto, se puede considerar que las elípticas enanas también se ajustan al plano edad-metalicidad- σ , definido inicialmente sólo con las gigantes, y que las desviaciones que se encuentran son principalmente debidas a los errores en las medidas.

Para una mejor interpretación de estos datos y analizar qué parámetro (edad o dispersión de velocidades) es el que tiene mayor influencia en la metalicidad, en la figura 5.19 se representa esta frente a las edades medidas. Se incluyen las proyecciones del plano para dispersiones de velocidades de 25 y 75 km/s (líneas de trazos), zona en la que esperaríamos encontrar la mayoría de las elípticas enanas, y 150, 250 y 350 km/s (líneas de puntos). En la figura 5.20 se muestra la metalicidad frente a la dispersión de velocidades, con la proyección del plano para distintas edades. Para una dispersión de velocidades dada, las galaxias elípticas con poblaciones estelares más jóvenes son también más metálicas. Al tiempo que, para una edad dada, son más metálicas las que tienen mayor dispersión de velocidades.

En la figura 5.19 se observa claramente la relación edad-metalicidad para las

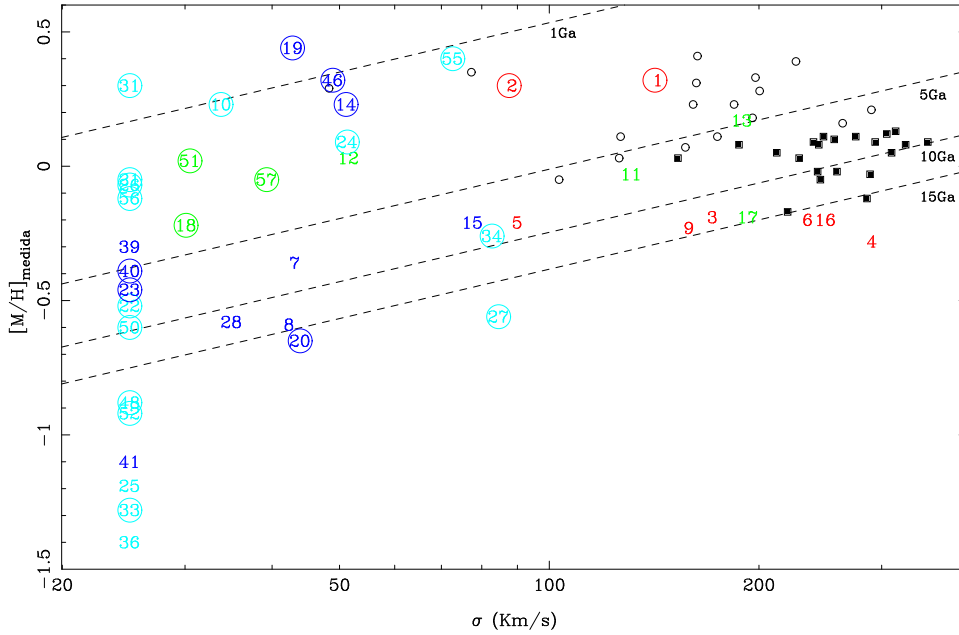


Figura 5.20: Metalicidad frente a la dispersión de velocidades medidas en las galaxias. Las líneas de trazos son las proyecciones del plano ajustado para las edades indicadas. De la muestra de elípticas gigantes de González se distinguen las que tienen edad menor de 6.5 Gigaños con círculos huecos y las más viejas con cuadrados rellenos. De la muestra de este trabajo también se han diferenciado con un círculo las más jóvenes de 6.5 Gigaños.

elípticas gigantes, incluyendo las ocho de nuestra muestra. Como ya se ha indicado, dicha relación se puede interpretar como un enriquecimiento químico producido por los subsiguientes brotes de formación estelar. Las siete compactas siguen la misma tendencia, con un rango similar en edad y metalicidad a las gigantes. Las elípticas enanas muestran un comportamiento diferenciado. Podemos ver que ocupan todo el rango de edades, pero las metalicidades de la submuestra con errores mayores (azul claro) presenta una mayor dispersión y son en promedio inferiores a lo esperado, por su dispersión de velocidades. A pesar de la dispersión de esta submuestra, se aprecia una tendencia similar a la de las gigantes, en el sentido de ser más metálicas las más jóvenes, pero con una pendiente más pronunciada tal y como se vio en la sección 5.4.4. En estas gráficas se muestran enanas con valores de metalicidad tan altos como los mayores de las gigantes, pero hay que recordar que el límite superior viene dado por lo que permiten medir los modelos de síntesis de poblaciones y los índices utilizados (ver figura 5.9).

Es interesante resaltar de la figura 5.20 que la tendencia que muestran las gigantes cuando sólo se tiene en cuenta estos dos parámetros (dispersión de velocidades y metalicidad) es opuesta a la que se deduce con el plano ajustado. Ahora se observa que la metalicidad disminuye con la dispersión de velocidades. Sólo cuando se consideran galaxias de una misma edad es cuando crece la metalicidad con la dispersión

de velocidades. Es decir, la edad influye de forma más efectiva que la dispersión de velocidades en la metalicidad de las regiones centrales de las elípticas gigantes. De hecho, en esta figura se ve claramente que las más jóvenes (círculos huecos) son las más metálicas. Esta diferencia de metalicidad según la edad, parámetros obtenidos a partir de los índices $H\beta$ y $\langle Fe \rangle$ en esta ocasión, también se cumple cuando se utiliza $[MgFe]$ como índice metálico (Pedraz et al. 1998).

En esta figura también se han diferenciado con un círculo las galaxias de nuestra muestra que tienen una edad menor de 6.5 Gigaños, comprobando que las gigantes muestran una segregación similar. Las compactas, aunque tienen metalicidades bastante similares entre si a pesar de la gran diferencia de la dispersión de velocidades de unas a otras, también muestran un comportamiento coincidente con el plano ajustado pues, como se aprecia en la figura, son más jóvenes las que tienen menor dispersión de velocidades.

De nuevo, las elípticas enanas muestran un comportamiento diferenciado también en esta gráfica. Por un lado, hay una amplia fracción de ellas que muestran similitudes con los otros tipos en el sentido de que las más metálicas son más jóvenes. Pero hay algunos casos claros IC3303, IC3492 y VCC823 (20, 27 y 34) que no coinciden con esa distribución, y otros, para los que no se ha podido medir su dispersión de velocidades (por esto se colocan en la gráfica en $\sigma = 25$ km/s), que igualmente se diferencian por ser jóvenes y muy poco metálicas. En resumen, hay una fracción de elípticas enanas que podrían haber tenido una evolución parecida a las gigantes en el sentido de que sucesivos brotes de formación estelar dan lugar a una población más metálica. Sin embargo, hay otra fracción de enanas que han debido tener un origen o evolución diferenciada que las ha llevado a tener una población joven y muy poco metálica.

5.5. Conclusiones

Después de los análisis realizados con los valores de los índices medidos en las regiones centrales de las galaxias de la muestra, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Al comparar la variación de los índices con la dispersión de velocidades (ambos medidos en las regiones centrales de las galaxias), para la mayoría de los índices el comportamiento de las elípticas enanas es similar a la relación que se encuentra para las gigantes extendida hacia menores valores de la dispersión de velocidades. Sin embargo, de forma generalizada para todos los índices, la muestra de enanas presentan una mayor dispersión frente a la pendiente ajustada, que no está justificada por los errores en las medidas. Para los índices CN_1 y CN_2 se encuentran offsets relativamente significativos al comparar las elípticas enanas con la muestra de gigantes de Trager (1998), pero las diferencias en sus pendientes no son significativas. Tan sólo para los índices de magnesio (Mgb , Mg_1 y Mg_2) se encuentran diferencias realmente significativas,

tanto para los offsets medidos como en las pendientes ajustadas. Es de resaltar también la gran similitud del comportamiento de los índices de hierro entre los distintos tipos de galaxias elípticas, sobre todo en los que son combinación de varios de ellos (Fe2, Fe3).

- Las elípticas compactas siguen aparentemente las mismas relaciones que las gigantes. Sin embargo hay algunas diferencias como las que presentan los índices CN₁, CN₂ y G4300, que para la dispersión de velocidades medidas en sus regiones centrales, son significativamente superiores a los esperados a partir de la relación $I-\sigma_0$ deducida de las gigantes.
- Cuando se representan en los diagramas índice-índice, las elípticas enanas ocupan zonas y muestran tendencias claramente diferenciadas de las gigantes. Aunque depende del par de índices utilizados, frecuentemente las enanas más brillantes suelen localizarse entre las gigantes y la zona ocupada por los cúmulos globulares pero, al ampliar la muestra de enanas hacia magnitudes menores, estas son más coincidentes con los cúmulos globulares. Sin embargo hay una diferencia muy significativa en los índices de la serie de Balmer, para los que los cúmulos se limitan a valores pequeños y, sin embargo, las enanas muestran un amplio rango de valores, indicando una alta dispersión en las edades.
- A diferencia de las gigantes, las elípticas enanas ocupan zonas más parecidas en las predicciones de los modelos de síntesis de poblaciones cuando se utilizan distintos indicadores metálicos. Como en la elaboración de los modelos utilizados en este trabajo se han utilizado las estrellas de la vecindad solar sin considerar posibles sobreabundancias de algunos elementos, se concluye que las abundancias relativas en las poblaciones estelares de las elípticas enanas son más parecidas a las de la vecindad solar que en el caso de las gigantes.
- Como consecuencia del punto anterior, también las edades y metalicidades obtenidas a partir de distintos índices muestran menos diferencias para las enanas que para las gigantes.
- En promedio, las elípticas enanas son significativamente más jóvenes y menos metálicas que las gigantes, independientemente de los índices utilizados. Las dispersiones respecto de la edad y metalicidad media, para las enanas, son claramente mayores de las que se esperarían a partir de los errores en las medidas.
- La relación edad-metalicidad existente para las elípticas gigantes no está tan definida para las enanas, pues estas tienen una mayor dispersión en metalicidad. Sin embargo, sí muestran una misma tendencia al tener metalicidades menores las elípticas enanas con poblaciones estelares más jóvenes. Además,

las pendientes de las rectas ajustadas a la edad y metalicidad obtenidas con distintos índices son mayores.

- Al representar las edades y metalicidades frente a la dispersión de velocidades, o la magnitud absoluta, las elípticas enanas no se limitan a la extrapolación hacia valores menores, de σ o M_B , de las tendencias que se encuentran para las gigantes. En particular, muestran metalicidades menores que dicha extrapolación y una gran dispersión en las edades. Sin embargo cuando se representan simultáneamente edad, metalicidad y dispersión de velocidades, las enanas coinciden en el plano determinado por la posición de las gigantes en el espacio definido por estos tres parámetros. Tan sólo son las elípticas enanas con mayores errores en las medidas de los índices, y por tanto de la edad y la metalicidad, las que se desvían significativamente de este plano.

Capítulo 6

Gradientes de índices

En este capítulo se lleva a cabo el análisis de los gradientes de índices de intensidad de líneas que se midieron en la sección 3.4. Después de una introducción, en la que se presentan los modelos de formación y evolución de galaxias que se pretenden contrastar con los resultados de este capítulo, así como los resultados de trabajos previos, en la segunda sección se analizan los gradientes de las galaxias elípticas enanas y compactas de la muestra. En la tercera sección se comparan sus valores promedios con los de las elípticas gigantes y en la cuarta se consideran las posibles correlaciones con otros parámetros, como la dispersión de velocidades o el valor de los índices en las regiones centrales de las galaxias. De esta forma se analiza si al aumentar el rango de dichos parámetros, con la inclusión de las elípticas enanas y compactas, se confirman y mejoran esas correlaciones o si, por el contrario, las galaxias estudiadas en este trabajo tienen comportamientos diferenciados. En la quinta sección se calculan, a partir de los gradientes de índices, los gradientes de edad y metalicidad con la ayuda de los modelos de síntesis de poblaciones de Vazdekis (1999), con la intención de diferenciar cuál de estos dos parámetros es el principal responsable de los gradientes de intensidad de líneas observados.

6.1. Introducción

Una vez estudiados los índices medidos en el centro de las galaxias en el capítulo anterior, de forma natural surge la cuestión de si estos son representativos de toda la galaxia de forma global o si, por el contrario, tanto los valores medidos como las edades y metalicidades calculadas a partir de ellos, únicamente son parámetros locales. Es decir, se pretende investigar si las poblaciones estelares de estas galaxias varían a medida que nos alejamos del centro hacia las zonas más externas. En este trabajo se ha abordado esta cuestión midiendo, por primera vez, los gradientes de índices de intensidad de líneas en una muestra de elípticas enanas.

El análisis de los posibles gradientes, además de proporcionar una descripción física más completa de cada galaxia, también permitirá estudiar como ha sido su formación y evolución. En este sentido, hay dos aspectos a diferenciar en esta tarea.

Por un lado, mediante la comparación con los modelos de síntesis de poblaciones, se puede analizar la variación radial de los parámetros de las poblaciones característicos, como la edad, la metalicidad y las abundancias relativas. Por otro lado, el examen de las posibles relaciones de los gradientes con los parámetros globales de las galaxias, permitirá estudiar los procesos que han dado lugar a dichos gradientes. La comparación de los resultados en estos dos aspectos con las predicciones de los modelos propuestos para la formación y evolución de las galaxias de primeros tipos, ayudará a avanzar en el conocimiento de las elípticas enanas, que es el principal objetivo de este trabajo. De forma generalizada, se comparará el comportamiento de la muestra de elípticas enanas de este trabajo con el de otras muestras amplias y homogéneas de elípticas gigantes.

Básicamente, existen dos escenarios propuestos para la formación y evolución de las galaxias de primeros tipos. Por un lado, el modelo de colapso disipativo (Larson 1974; Arimoto y Yoshii 1987), predice que todas las estrellas de la galaxia se formaron en un origen monolítico a partir del colapso gravitatorio de la nube inicial, manteniendo sus distancias al centro en orbitas con mínimas variaciones. Al mismo tiempo, el resto del gas que no se transforma en estrellas, pierde parte de su energía cinética por disipación y progresivamente va cayendo hacia el centro de la galaxia. Si se considera que este gas se ha ido enriqueciendo con los materiales eyectados al medio por las estrellas evolucionadas y que al mismo tiempo dichas estrellas también producen vientos galácticos que pueden detener la formación estelar en las zonas externas (sometidas a un menor potencial gravitatorio), el resultado es que se producen gradientes de metalicidad muy pronunciados. Además, estos gradientes han de mostrar una correlación con la masa de la galaxia, o con la dispersión de velocidades medida en su región central. Sin embargo, los gradientes en edad predichos son casi inexistentes, dado que la duración de la formación estelar ha sido inferior a 1 Gigaño (Arimoto y Yoshii 1987). Variaciones de este modelo indican que la sola existencia de vientos galácticos, sin la disipación del gas enriquecido, es suficiente para producir los gradientes en metalicidad, prediciéndose además correlaciones entre las propiedades globales de las galaxias como la relación color-magnitud (Bower, Lucey y Ellis 1992) ó el Plano Fundamental (Dressler et al. 1987).

Por otra parte, el modelo de agrupamiento jerárquico (Toomre 1972; Kaufmann 1996; Cole et al. 2000) predice que la formación de galaxias elípticas se ha producido a partir de la fusión de galaxias espirales u otras más pequeñas. En principio, este modelo no presenta predicciones claras sobre los gradientes, pero si es consistente con que haya una gran variedad en los gradientes entre galaxias similares, ya que sus historias de fusiones y formación estelar pueden ser muy diferentes. El propio proceso de fusión puede provocar que los posibles gradientes de metalicidad presentes en las galaxias progenitoras se diluya, dando lugar a otro más suave (Lacey y Cole 1993). Pero también se pueden inducir brotes posteriores de formación estelar que se localizarán preferentemente en el centro, con lo cual se producirán gradientes de metalicidad más pronunciados (Mihos y Hernquist 1994). En cualquier caso,

el modelo jerárquico si puede justificar, además de una variedad en los gradientes en metalicidad, la existencia de gradientes de edad (con las regiones centrales más jóvenes que las exteriores).

La existencia de gradientes en las poblaciones estelares de galaxias elípticas se conoce desde las primeras observaciones de los colores, y de algunas características espectrales, a lo largo del radio. Desde los trabajos pioneros de Faber (1977) y Burstein (1979), es conocida también la existencia de gradientes en los índices de intensidad de líneas, en el sentido de que las líneas de absorción que los caracterizan son menos intensas al movernos hacia las partes más externas de las galaxias. El hecho de que en estas pequeñas muestras iniciales los gradientes fuesen muy similares entre galaxias, parecía apuntar hacia una disminución de la metalicidad con el radio de forma generalizada para las elípticas. Sin embargo, cuando se fueron mejorando las muestras, tanto en calidad como en cantidad, se puso en evidencia la gran variedad de gradientes espectroscópicos entre las galaxias elípticas (Efstathiou y Gorgas 1985; Peletier 1989; Gorgas, Efstathiou y Aragón-Salamanca 1990; Bender y Surma 1992; Davies, Sadler y Peletier 1993; González 1993; Fisher, Franx e Illingworth 1995; Cardiel, Gorgas y Aragón-Salamanca 1998; Kobayashi y Arimoto 1999; Mehlert et al. 2003; Sánchez-Blázquez 2004). Aunque existen diferencias entre las conclusiones de los diversos autores debidas al uso de distintos índices, de forma general se encuentran gradientes pronunciados para las bandas de CN, en el triplete de Mg en 5175Å, en la banda G, en NaD, en las líneas H y K del CaII y en líneas de Fe. Sin embargo, los gradientes de $H\beta$, MgH, TiO, CaI y del triplete de CaII en 8600Å son más pequeños o nulos. La mayoría de los autores han interpretado estos gradientes en los índices como una disminución radial exclusivamente en la metalicidad de las poblaciones estelares, (Davies et al. 1993; Kobayashi y Arimoto 1999; Mehlert et al. 2003). Por el contrario, otros autores (Gorgas et al. 1990; Munn 1992; González 1993; González y Gorgas 1996) han indicado que para explicar los gradientes planos de $H\beta$ junto con los gradientes metálicos negativos, es necesaria también la existencia de una variación en la edad de las poblaciones estelares a lo largo del radio en el sentido de que la edad media de las regiones centrales ha de ser menor que para las regiones externas.

Considerando que la presencia y medida de gradientes en las poblaciones estelares, pueden proporcionar información sobre los procesos de formación y evolución de las galaxias, la medida de dichos gradientes en la muestra de elípticas enanas de este trabajo permite ampliar el rango de variación en algunos parámetros como la luminosidad, la masa o la dispersión de velocidades, lo cual puede ayudar a evaluar mejor la importancia o influencia de éstos en los procesos disipativos o los vientos de supernovas. Cualquier escenario que se proponga para explicar la historia de la formación y evolución de las galaxias elípticas, tiene que dar cuenta tanto de la existencia de gradientes en sus poblaciones estelares, como de la variación de estos con la masa de las galaxias.

6.2. Medidas de gradientes de índices en galaxias elípticas enanas y compactas.

En este capítulo se analizan los gradientes de intensidad de líneas medidos en la muestra de galaxias elípticas. Tan sólo para 7 elípticas enanas y 7 compactas se han podido medir los índices fuera de sus regiones centrales para obtener gradientes de intensidad de líneas con una mínima calidad. De la muestra total de galaxias estudiada en este trabajo no se han podido incluir en este análisis ni las observadas con Wyffos, por estar limitadas a los $2.7''$ centrales, ni las observadas con rendija larga, pero con tiempo de exposición insuficiente para extraer espectros con una señal-ruido mínima en las partes exteriores.

En la sección 3.4 ya se ha descrito como se extrajeron los espectros a lo largo del radio y como se midieron los correspondientes índices. En el apéndice C se presentan, en forma de tabla, los índices y sus errores a lo largo del radio, así como las correspondientes gráficas con los gradientes obtenidos. Con el objetivo de permitir una comparación directa de los gradientes en los diferentes índices, éstos se expresan en magnitudes (ver fórmulas 5.1 y 5.2).

Aunque la variación de los índices de intensidad de líneas no es completamente lineal a lo largo del radio de las galaxias en estudio, se considera que esta es una primera aproximación adecuada para obtener una medida cuantitativa de los mismos. De esta forma, tal y como se describe en la sección 3.4, se realizó un ajuste lineal pesado con errores a la relación $I' = I'_0 + G \log(r/r_e)$, desechando el valor dentro del segundo de arco central por estar afectado por el *seeing*, y los que se desviaban más de 3 veces la desviación típica residual (ver Figura 3.7). Así se han obtenido tanto los valores de los propios gradientes como sus errores. El representar la distancia al centro como fracción del radio efectivo facilita la comparación entre galaxias de distintos tamaños. Los valores obtenidos para las diferentes galaxias (para los índices que se han podido calcular) se muestran en la tabla 6.1.

A partir de estos gradientes individuales se han calculado los valores medios, pesando con los errores, para cada tipo de galaxia (ver tabla 6.2). Se han calculado también la dispersión respecto de esos valores medios (σ) y la esperada (σ_{esp}) a partir de los errores individuales. Así mismo, se ha llevado a cabo un test χ^2 para calcular el nivel de significación (α) con el que se puede rechazar la hipótesis de que la dispersión observada entre los gradientes es debida exclusivamente a los errores en las medidas ($\sigma = \sigma_{esp}$).

Como se aprecia a partir de los valores de α la dispersión de los gradientes de las elípticas enanas no está explicada por los errores para los índices Mg_2 , Mg_1 , $Fe5015$, $Fe5270$ y $Fe5335$. Hay que resaltar también que no hay grandes diferencias entre las dispersiones medidas para los distintos índices, aunque el considerar que estas sean significativas ($\alpha < 0.05$) dependa de los errores en las medidas de los gradientes individuales.

Para las compactas, la dispersión de los gradientes es real para los índices Mg_2 , Mg_1 y Mgb , pero sin embargo no lo es para los de hierro $Fe5015$, $Fe5270$ y $Fe5335$.

Tabla 6.1: Gradientes (con sus errores en la segunda línea) calculados a partir de los índices medidos en magnitudes a distintas distancias del centro de cada galaxia. En la segunda columna se muestra el ángulo de posición de la rendija, en grados, y en la tercera el tipo de galaxia elíptica: enana (dE), compacta (cE) o gigante (gE).

Galaxia	A.P.	Tipo	D4000 Δ	Ca4455' Δ	Fe4531' Δ	Fe4668' Δ	H β ' Δ	Fe5015' Δ	Mg ₁ Δ	Mg ₂ Δ	Mgb' Δ	Fe5270' Δ	Fe5335' Δ	Fe5406' Δ	Fe5709' Δ	Fe5782' Δ	Na5895' Δ	Fe2 Δ	Fe6 Δ
NGC4415	6	dE	-0.583 0.149				0.005 0.014	-0.018 0.006	-0.003 0.007	-0.011 0.010	-0.020 0.010	-0.022 0.010	0.001 0.004	-0.015 0.008	-0.005 0.006	-0.030 0.007	0.007 0.006	-0.011 0.004	-0.012 0.003
NGC4431	182	dE	-0.092 0.133				-0.017 0.008	0.004 0.009	0.009 0.005	-0.009 0.010	-0.009 0.008	0.005 0.006	-0.002 0.008	-0.018 0.007	-0.009 0.009	0.004 0.009	-0.014 0.008	0.002 0.006	-0.005 0.004
NGC4489	160	dE	-0.379 0.082				-0.022 0.015	-0.037 0.005	0.016 0.006	-0.024 0.003	-0.034 0.009	-0.019 0.005	-0.023 0.008	-0.017 0.004	-0.012 0.004	-0.022 0.012	-0.031 0.008	-0.021 0.005	-0.019 0.004
NGC4515	0	dE					0.006 0.007	-0.011 0.004	-0.038 0.013	-0.061 0.014	-0.028 0.004	-0.022 0.004	-0.015 0.006	-0.006 0.005				-0.017 0.005	-0.017 0.004
IC794	105	dE	-0.898 0.382				0.017 0.031	-0.017 0.007	-0.002 0.006	-0.002 0.010	0.008 0.017	-0.006 0.012	-0.025 0.014	-0.003 0.019	0.003 0.018	-0.008 0.011	-0.046 0.025	-0.016 0.009	-0.010 0.007
IC3393	133	dE					0.016 0.020	-0.010 0.013	-0.026 0.009	-0.032 0.013	-0.013 0.019	-0.042 0.015	0.009 0.009	-0.019 0.019	0.010 0.012	-0.003 0.008	-0.008 0.017	-0.016 0.008	-0.016 0.006
UGC7436	300	dE					-0.005 0.009	-0.010 0.011	0.017 0.006	-0.022 0.011	-0.030 0.012	-0.004 0.004	-0.007 0.013	0.007 0.008	0.001 0.012	0.019 0.008	0.003 0.009	-0.005 0.008	-0.002 0.006
NGC4464	146	cE	-0.603 0.079	0.036 0.082	0.039 0.037	-0.011 0.005	0.018 0.011	-0.017 0.004	-0.018 0.006	-0.019 0.023	-0.022 0.011	0.006 0.007	-0.007 0.008	-0.001 0.007	0.001 0.007			0.002 0.005	0.003 0.005
NGC4467	99	cE	-0.299 0.120	-0.141 0.102	0.118 0.027	-0.017 0.007	0.006 0.019	-0.016 0.015	0.009 0.015	0.055 0.030	0.041 0.013	-0.002 0.010	-0.011 0.014	-0.001 0.019	-0.014 0.015			-0.007 0.011	-0.004 0.011
NGC4486B	90	cE	-0.834 0.105	-0.274 0.042	0.001 0.034	-0.029 0.006	-0.013 0.005	-0.030 0.008	-0.029 0.013	-0.025 0.030	-0.033 0.008	0.000 0.006	-0.005 0.008	-0.007 0.006	-0.011 0.009			-0.003 0.005	-0.007 0.005
NGC5846A	40	cE	-0.163 0.098	-0.137 0.192	-0.011 0.023	-0.036 0.029	-0.014 0.031	-0.023 0.007	0.033 0.019	0.030 0.025	-0.007 0.012	-0.027 0.021	-0.007 0.022	-0.019 0.020	-0.030 0.010			-0.017 0.019	-0.018 0.013
NGC5846A	182	cE	-0.587 0.308				0.012 0.013	-0.021 0.018	-0.030 0.009	-0.079 0.008	-0.057 0.014	-0.018 0.014	-0.021 0.012	-0.006 0.011	0.002 0.009	-0.017 0.019	-0.109 0.017	-0.018 0.012	-0.015 0.009
IC767	75	cE	0.002 0.063				-0.016 0.016	-0.018 0.009	0.012 0.006	0.001 0.004	-0.005 0.016	-0.037 0.020	-0.012 0.019	-0.030 0.013	0.002 0.014	-0.012 0.010	-0.029 0.009	-0.024 0.007	-0.026 0.004
VCC1148	170	cE	0.289 0.201	0.038 0.123	0.152 0.115	-0.042 0.019	-0.042 0.019	0.021 0.053	0.022 0.018	0.048 0.022	-0.007 0.021	0.014 0.025	-0.003 0.020	-0.028 0.022	-0.018 0.015			0.005 0.016	-0.005 0.016
VCC1627	164	cE	-0.443 0.118	0.154 0.213	-0.114 0.232	-0.029 0.013	0.002 0.026	-0.028 0.018	0.016 0.013	-0.025 0.013	-0.029 0.016	-0.054 0.025	-0.035 0.019	-0.044 0.024	-0.061 0.012			-0.046 0.020	-0.046 0.016
NGC2694	180	gE	-0.496 0.073	0.039 0.148	-0.020 0.010	-0.016 0.020	-0.022 0.008	-0.017 0.009	0.107 0.047	0.105 0.061	-0.012 0.018	-0.019 0.006	-0.013 0.006	-0.029 0.015				-0.013 0.005	-0.019 0.007
NGC3605	17	gE					0.000 0.005	-0.013 0.004	-0.034 0.010	-0.046 0.009	-0.027 0.005	-0.017 0.005	-0.023 0.004	-0.012 0.007				-0.017 0.003	-0.015 0.003
NGC3641	60	gE	-0.725 0.098	0.119 0.060	0.017 0.016	-0.009 0.008	0.017 0.006	-0.017 0.008	-0.023 0.011	-0.041 0.025	-0.037 0.010	-0.011 0.005	-0.015 0.007	-0.017 0.006	-0.004 0.011			-0.007 0.004	-0.011 0.003
NGC5846	77	gE					0.019 0.012	0.023 0.005	-0.009 0.007	-0.018 0.010	-0.027 0.009	0.001 0.008	-0.013 0.007	-0.009 0.009	-0.015 0.004	0.003 0.009	-0.023 0.011	-0.007 0.007	-0.007 0.005
NGC5846	182	gE	-0.528 0.113				0.010 0.005	-0.001 0.003	-0.022 0.004	-0.041 0.005	-0.052 0.007	-0.027 0.003	-0.025 0.005	-0.003 0.004	-0.004 0.002	-0.004 0.003	-0.068 0.006	-0.026 0.003	-0.017 0.002

6.3. Comparación con galaxias elípticas gigantes

Para poder comparar los gradientes medidos en las galaxias elípticas enanas y en las compactas con los de las gigantes, se han utilizado dos muestras de elípticas gigantes como referencia. La muestra de González y Gorgas (1996) se ha utilizado para la comparación de los gradientes en el índice Mg_2 y la de Sánchez-Blázquez (2004) para el resto de índices que se presentan en la tabla 6.2, si bien de esta última previamente se excluyeron las galaxias pertenecientes al cúmulo de Coma o al Grupo Local, quedándonos sólo con las elípticas gigantes de campo y cúmulos poco densos como el de Virgo. En la tabla 6.2 se muestran los principales resultados de la comparación.

Además de la dispersión respecto del valor medio y la esperada por los errores individuales, examinados en la sección anterior, se han calculado las diferencias (Δ) entre los gradientes medios para cada índice, así como el correspondiente estadístico t de la comparación mediante un test T de Student.

El resultado mas significativo de la comparación es que los gradientes de Mg_2 y Mg_1 de las elípticas enanas son más planos que los de las gigantes. Mientras que para las dE los gradientes medios son de -0.0223 y 0.0038 con una dispersión de 0.0107 y 0.0154 respectivamente, para las gigantes los gradientes medios son de -0.0514 y -0.0224 con dispersión de 0.0189 y 0.0186 respectivamente. Con los valores obtenidos del estadístico t podemos concluir que los gradientes de estos índices son menos pronunciados en las elípticas enanas que en las gigantes con un nivel de significación menor que 0.005 . Hay que apuntar sin embargo, que para el índice Mgb la diferencia entre los gradientes medios de ambos tipos de galaxias no es significativa. A diferencia de estos índices de Mg , los gradientes de índices de Fe de las dE son compatibles con los de las gigantes, aunque en las enanas también son moderadamente planos, en las gigantes los gradientes de los índices de Fe son menos pronunciados que los de Mg . Las diferencias que se encuentran al comparar los valores de los gradientes medios de $Fe5270$ y $Fe5335$ entre dE y E no son significativos y menos aún los de $\langle Fe \rangle$, tal y como se desprende de sus correspondientes valores de t . En lo que respecta a $H\beta$, tanto en las enanas como en las gigantes el valor promedio de los gradientes es compatible con ser planos. En la sección 6.5 se interpretan estos gradientes en términos de variaciones de edad y metalicidad con la ayuda de los modelos de síntesis de poblaciones.

En la figura 6.1 se muestra claramente como son los gradientes medios de Mg_2 (1) y Mg_1 (2) los únicos que muestran un comportamiento diferente entre ambas submuestras.

Los gradientes de los índices de Fe en las compactas, con la posible excepción de $Fe4668'$, tampoco muestran diferencias significativas con los de las gigantes. Las mayores diferencias se dan en los índices $Ca4455'$ y $Fe4531'$, que incluso quedan fuera de la figura 6.1. Sin embargo, esta diferencia no es relevante, dada la gran dispersión de estos gradientes entre las compactas, así como sus errores individuales.

Los índices Mg_2 y Mg_1 de las compactas también son menores que los de

Tabla 6.2: Comparación del gradiente medio de las galaxias enanas y de las compactas con las elípticas gigantes. Para cada tipo de galaxia y cada índice se muestra el valor medio (Grad.) de los N gradientes, la dispersión respecto de la media (σ), la dispersión esperada por los errores (σ_{esp}) de cada gradiente individual y el nivel de significación (α) obtenido en un test χ^2 para contrastar la hipótesis $\sigma = \sigma_{\text{esp}}$. Para las elípticas gigantes, los valores de Mg₂ corresponden a la muestra de González y Gorgas (1996) y para los demás índices a la de Sánchez-Blázquez (2004). Δ es la diferencia entre los valores medios de los gradientes de las submuestras de enanas, y compactas respectivamente, y los de las gigantes. t es el valor del estadístico del test de comparación de medias (un t mayor que ~ 2 indica que hay una diferencia significativa a un nivel $\alpha = 0.05$).

Índice	E's			dE's			cE's		
	N.gals	σ_{esp}	Δ	N.gals	σ_{esp}	t	N.gals	σ_{esp}	Δ
	Grad.	σ		Grad.	σ		Grad.	σ	
		α			α			α	
1	104	0.0057	0.0291	7	0.0066	3.88	8	0.0093	0.0386
Mg ₂	−0.0514	0.0189		−0.0223	0.0107		−0.0128	0.0348	
		< e−30			0.0155			4.1 e−18	
2	26	0.0055	0.0262	7	0.0066	3.47	8	0.0094	0.0178
Mg ₁	−0.0224	0.0186		0.0038	0.0154		−0.0046	0.0206	
		< e−30			9.4 e−06			2.1 e−05	
3	51	0.0065	0.0050	7	0.0078	0.80	8	0.0124	0.0108
Mgb'	−0.0290	0.0149		−0.0240	0.0102		−0.0182	0.0275	
		8.7 e−30			0.1230			1.5 e−05	
4	51	0.0055	−0.0045	7	0.0107	0.76	8	0.0110	−0.0081
H β '	0.0009	0.0101		−0.0036	0.0123		−0.0072	0.0150	
		2.7 e−15			0.2385			0.0700	
5	26	0.0054	−0.0015	7	0.0057	0.43	8	0.0080	0.0041
⟨Fe⟩'	−0.0110	0.0075		−0.0125	0.0077		−0.0069	0.0118	
		0.0040			0.0914			0.0328	
6	51	0.0049	−0.0033	7	0.0063	0.57	8	0.0081	−0.0058
Fe5015'	−0.0142	0.0076		−0.0175	0.0127		−0.0200	0.0055	
		1.4 e−07			0.0004			0.8631	
7	26	0.0063	−0.0043	7	0.0057	0.77	8	0.0106	0.0054
Fe5270'	−0.0083	0.0082		−0.0126	0.0118		−0.0029	0.0138	
		0.0187			0.0003			0.1046	
8	26	0.0076	0.0081	7	0.0070	1.43	8	0.0122	0.0035
Fe5335'	−0.0136	0.0096		−0.0055	0.0109		−0.0101	0.0083	
		0.0344			0.0230			0.8601	
9	51	0.0072	−0.1588				6	0.0805	−0.1588
Ca4455'	−0.0152	0.0092					−0.1740	0.1514	
		0.0025						0.0033	
10	51	0.0053	0.0479				6	0.0348	0.0479
Fe4531'	−0.0116	0.0061					0.0363	0.0620	
		0.0671						0.0071	
11	51	0.0044	0.0121				6	0.0078	0.0121
Fe4668'	−0.0317	0.0092					−0.0196	0.0098	
		2.1 e−22						0.1686	

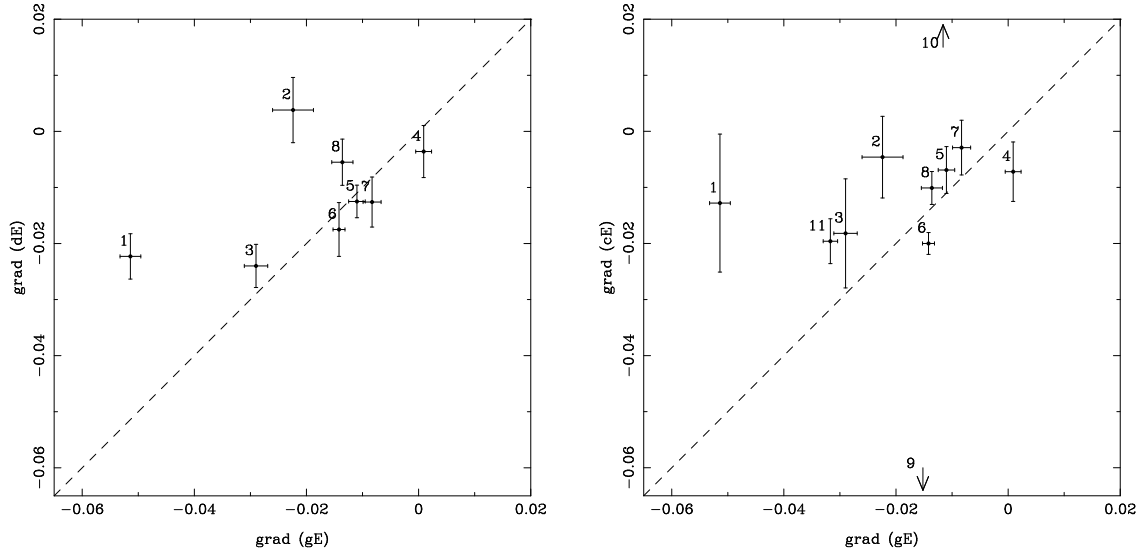


Figura 6.1: Comparación de los gradientes medios de las enanas (izquierda) y compactas (derecha) con los de las elípticas gigantes. Cada índice se identifica con el número asignado en la tabla 6.2. Para Ca4455' (9) y Fe4531' (10) las flechas indican el valor correspondiente de los gradientes medios de las gigantes (abscisas) y que para las compactas estos valores se localizan fuera de los límites de la gráfica (ordenadas).

las gigantes, si bien ahora el nivel de significación es sólo de 0.07, debido en buena parte a la dispersión de los valores de los gradientes de las compactas. Por otra parte, entre compactas y enanas no hay diferencias apreciables para estos dos índices pues el estadístico es $t = 0.39$ para Mg_2 y $t = 0.77$ para Mg_1 .

6.4. Correlación de los gradientes de índices con otros parámetros.

Las diferencias encontradas en la sección anterior entre los gradientes de las elípticas enanas y los de las gigantes (en algunos índices de intensidad de líneas) permiten ampliar el estudio de la formación de las galaxias elípticas al contar con mayores rangos en los parámetros globales de estas. Efectivamente, si la formación de las galaxias elípticas se ha producido de forma monolítica a partir de una nube de gas, mediante un colapso gravitatorio y el posterior enfriamiento del gas por disipación de energía, tal y como se describe en la introducción de este capítulo, los gradientes de metalicidad han de estar correlacionados con la masa y la dispersión de velocidades de las galaxias (Arimoto y Yoshii 1987). Clásicamente se ha considerado que, aunque el índice Mg_2 no es únicamente un indicador de la metalicidad, si no que también depende de la edad y refleja la variación de abundancias relativas entre elementos ($[Mg/Fe]$), se puede utilizar como una primera estimación de la metalicidad

relativa dentro de cada galaxia. De esta, en trabajos previos se han identificado los gradientes de Mg_2 con los gradientes de metalicidad. Notese que esta hipótesis no es válida si existen gradientes apreciables de edad (ver sección 6.5). Los trabajos de Davies et al. (1987), Burstein et al. (1988) y Bender, Burstein y Faber (1993) muestran una clara correlación entre Mg_2 y la dispersión de velocidades, medidos ambos en el centro de las galaxias. Una relación similar se encuentra entre el índice Mg_2 central y la magnitud absoluta (M_B), teniendo las elípticas más brillantes mayores valores de Mg_2 (Faber 1973; Burstein 1979). Sin embargo, en trabajos previos no se encuentran correlaciones claras de los gradientes de Mg_2 con otras propiedades de las galaxias elípticas; tan sólo se han identificado algunas tendencias. Gorgas et al. (1990), examinando los gradientes de algunos índices metálicos en una muestra de 15 galaxias elípticas, comprobaron que había una gran variedad en los comportamientos de los gradientes de una galaxia a otra, pero, sin embargo, mostraron algunas tendencias que sugerían posibles correlaciones del gradiente de Mg_2 con la dispersión de velocidades y con el Mg_2 central. Por el contrario, Davies et al. (1993) no encontraron esta correlación entre su muestra de 12 elípticas. Estas discrepancias coinciden con los resultados de Carollo et al. (1993) que, en una muestra de 42 galaxias elípticas, comprobaron la existencia de una correlación positiva del gradiente de Mg_2 con el valor de este índice en las regiones centrales, aunque únicamente cuando se limitaba la muestra a las galaxias con una masa inferior a $10^{11} M_\odot$; las más masivas no presentaban un comportamiento definido. González y Gorgas (1996) indicaron que el hecho de que las E con valores centrales de Mg_2 más altos sean las que muestran gradientes más pronunciados conlleva el que no haya tanta diferencia realmente en la metalicidad global de estas galaxias. Estos autores, en una recopilación de datos para 114 galaxias elípticas, no encontraron correlaciones del gradiente de Mg_2 ni con la dispersión de velocidades central, ni con el índice de color B–V, ni con la magnitud absoluta o la masa de la galaxia. Sin embargo, si encontraron una correlación claramente significativa entre los gradientes de Mg_2 y los valores centrales de este mismo índice. La justificación se encuentra en que, aunque la cantidad de disipación durante el proceso principal de formación estelar inicial puede ser proporcional al pozo de potencial de la galaxia, dando por lo tanto lugar a una correlación inicial del gradiente de metalicidad con la masa, la dispersión de velocidades y la metalicidad central, una formación estelar posterior se producirá principalmente en el centro de la galaxia, deshaciendo la correlación con la masa y la dispersión de velocidades, pero conservando la relación con el valor central de Mg_2 (nótese que un brote de formación estelar en el centro aplanaría el gradiente y disminuiría el Mg_2 central simultáneamente). La razón que puede explicar que estos autores encuentren una correlación más clara que otros entre el gradiente de Mg_2 y su valor central, es la inclusión en su recopilación de elípticas enanas, con valores muy bajos del índice Mg_2 . Hay que indicar que los datos de las galaxias elípticas enanas incluidos en su estudio son realmente versiones preliminares de los analizados en este trabajo. Las 7 dE pertenecen a la muestra que se presenta en esta memoria.

Tabla 6.3: Correlación de los gradientes de índices con los índices centrales. r_s es el coeficiente de correlación al realizar un test no paramétrico de Spearman, P_{nc} la probabilidad de que no haya correlación entre ambos parámetros y N el número de galaxias con las que se ha hecho el test.

Índice	solo E			E + dE		
	N	r_s	P_{nc}	N	r_s	P_{nc}
Mg ₂	104	-0.2945	0.00120	111	-0.3817	0.00002
Mgb	48	-0.1730	0.11981	55	-0.2669	0.02445
H β	48	-0.2080	0.07801	55	-0.1771	0.09798
Fe5015	49	-0.0741	0.30647	56	-0.1475	0.13896
Fe5270	25	0.0006	0.49886	32	-0.1172	0.26145
Fe5335	25	-0.1717	0.20587	32	-0.4148	0.00911
$\langle\text{Fe}\rangle$	25	-0.1606	0.22161	32	-0.3076	0.04342

Tabla 6.4: Correlación de los gradientes de índices con la dispersión de velocidades central de las galaxias. r_s es el coeficiente de correlación al realizar un test no paramétrico de Spearman, P_{nc} la probabilidad de que no haya correlación entre ambos parámetros y N el número de galaxias con las que se ha hecho el test.

Índice	solo E			E + dE		
	N	r_s	P_{nc}	N	r_s	P_{nc}
Mg ₂	104	-0.0131	0.4473	111	-0.1466	0.0624
Mgb	48	-0.0609	0.3404	55	-0.1696	0.1078
H β	48	0.0499	0.3667	55	0.0253	0.4266
Fe5015	49	0.3639	0.0051	56	0.2390	0.0380
Fe5270	25	0.1044	0.3097	32	0.1597	0.1913
Fe5335	25	0.1983	0.1710	32	0.0329	0.4291
$\langle\text{Fe}\rangle$	25	0.1544	0.2306	32	0.1734	0.1713

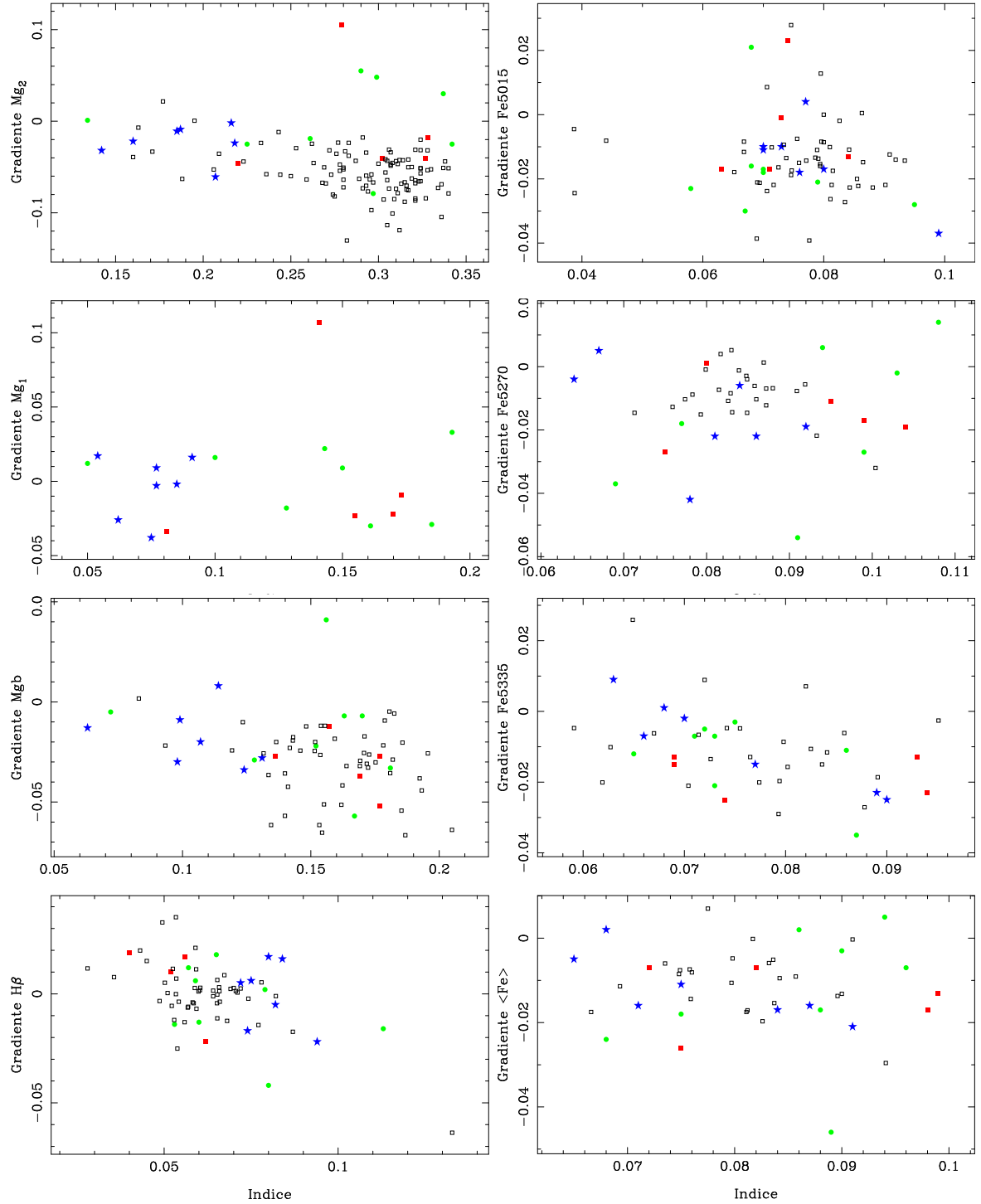


Figura 6.2: Gradientes de los índices frente a los índices (en magnitudes) medidos en el centro de las galaxias. Con cuadrados huecos y negros se representan las elípticas gigantes de la muestra de González y Gorgas (1996) para el Mg_2 y de la muestra de Sánchez-Blázquez para los demás índices. Con símbolos rellenos se identifican las galaxias de este trabajo, cuadrados rojos para las gigantes, círculos verdes para las compactas y estrellas azules para las enanas.

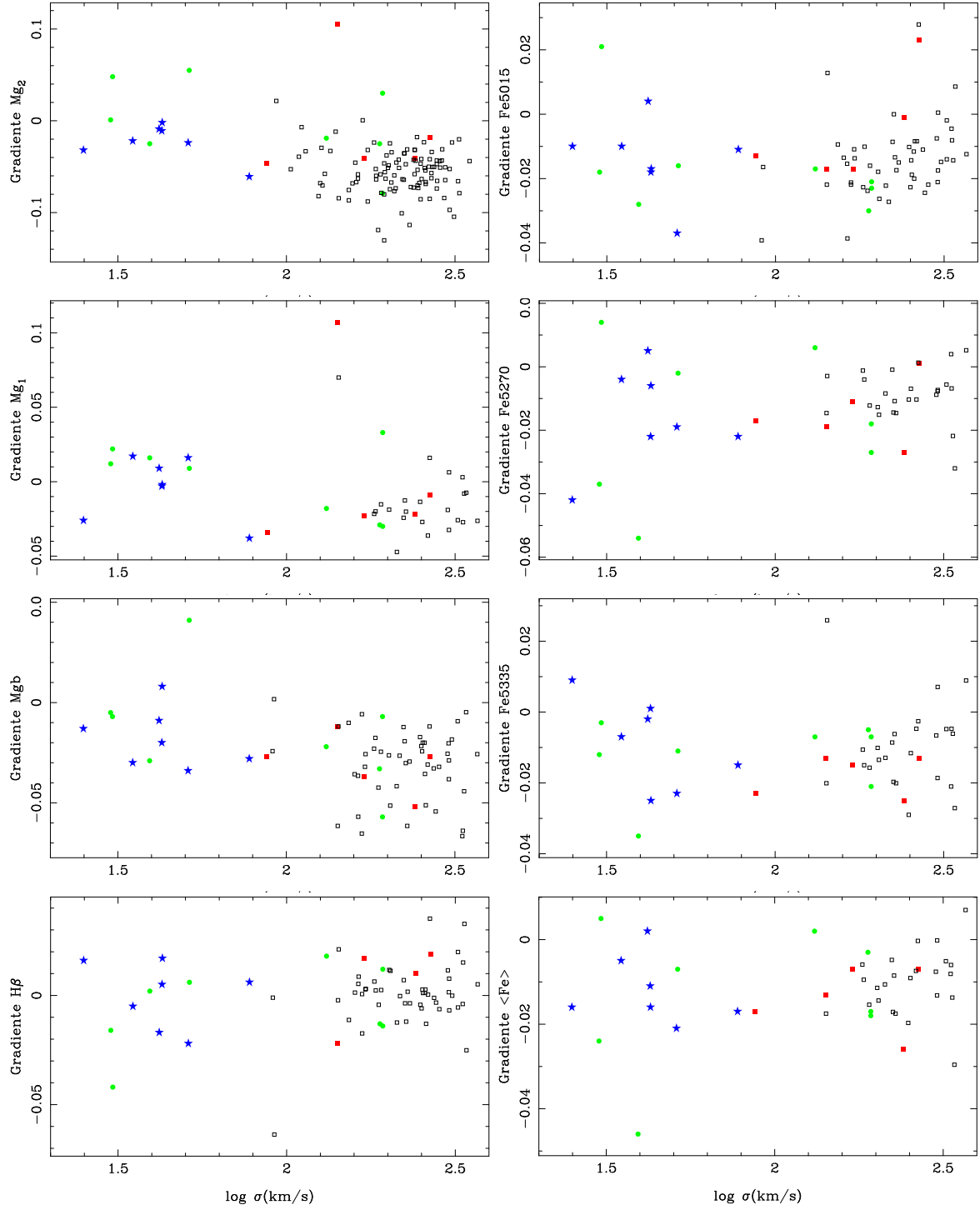


Figura 6.3: Gradientes de los índices (medidos en magnitudes) frente al logaritmo de la dispersión de velocidades medido en el centro de las galaxias. Se utilizan los mismos símbolos que en la figura anterior.

En las figuras 6.2 y 6.3 se representan gráficamente los gradientes de los índices medidos frente a su valor en la región central y frente a la dispersión de velocidades central, respectivamente. Para analizar como influye la inclusión de elípticas enanas en la posible existencia de correlaciones entre los gradientes de índices de las galaxias elípticas y sus valores centrales se ha llevado a cabo un test no paramétrico de Spearman, considerando en principio, solamente las elípticas gigantes de la muestra de González y Gorgas (1996) para el Mg_2 y de la muestra de Sánchez-Blázquez (2004) para los demás índices en común, incluyendo posteriormente las 7 dE que se estudian en este trabajo. Los correspondientes coeficientes de correlación (r_s), así como la probabilidad de no correlación (P_{nc}) entre los gradientes de índices y su valor central, y de los gradientes con la dispersión de velocidades central, se dan en las tablas 6.3 y 6.4 respectivamente. Como se desprende de los coeficientes de la tabla 6.3, las probabilidades de correlación aumentan, de forma general para todos los índices, cuando se incluyen las dE. Si bien, solamente para el Mg_2 es realmente significativa esta correlación, que pasa de tener una probabilidad de no correlación $P_{nc} = 1.2 \times 10^{-3}$ a $P_{nc} = 1.8 \times 10^{-5}$ cuando se incluyen las dE. Hay que resaltar el que no se encuentre correlación para Mgb en las gigantes, aunque si aparece una tendencia al incluir las enanas. Este índice atómico solo incluye la línea de absorción correspondiente al MgI en su banda central, a diferencia del Mg_2 que además contiene la banda molecular de MgH . Para el resto de índices metálicos la tabla muestra que la inclusión de las elípticas enanas hace que existen tendencias más claras de los índices con los gradientes aunque, con la excepción de $Fe5335$, las correlaciones no llegan a ser significativas. En lo que respecta a las posibles correlaciones de los gradientes de índices con la dispersión de velocidades central, se comprueba que realmente no existe para ninguno de ellos. Tan solo para el Mg_2 se aprecia una tendencia, con $P_{nc} = 0.06$, al incluir las dE.

El que mejoren las correlaciones con la inclusión de las elípticas enanas podría explicarse con un escenario en el que las galaxias más masivas se formaran a partir de fusiones de otras que predominantemente estuvieran compuestas por estrellas y que las que dieran lugar a las más pequeñas tuvieran un mayor contenido gaseoso (Faber et al. 1997). También, el que las E masivas no muestren una correlación clara del gradiente con la dispersión de velocidades central, como lo hacen las elípticas enanas, indicaría que son estas menos masivas las que mejor se explicarían con un modelo de colapso disipativo. Pero igualmente podría entenderse en un escenario con vientos galácticos que fueran más activos en las elípticas menos masivas, si bien este escenario conduciría a una correlación con la dispersión de velocidades central más significativa de la que se encuentra. Por otro lado, dicho escenario de vientos también podría justificar el que el Fe no se haya incorporado al medio interestelar y si lo hayan hecho, de forma más efectiva en etapas más tempranas, los elementos alfa, explicando que se encuentre una correlación del gradiente con el índice central para el Mg_2 y no para los índices de Fe . En cualquier caso, hay que indicar que cualquier proceso que implique disipación de gas hacia las partes centrales de las galaxias facilitaría el que la formación estelar se produjera en estas regiones (Kobayashii 2004), dando

lugar tanto a índices centrales más altos como a gradientes más pronunciados, y por tanto, a correlaciones mas claras entre estos.

6.5. Cálculo de gradientes de edad y metalicidad

La existencia de gradientes en los índices de intensidad de líneas puede deberse a variaciones radiales de la edad, de la metalicidad, de la función inicial de masas (IMF), de la abundancia relativa entre elementos o a una combinación de todos estos parámetros de las poblaciones estelares a lo largo del radio de cada galaxia. Es claro que no se puede asegurar que la IMF sea totalmente universal (Weidner y Kroupa 2005) y que presente la misma pendiente en distintas regiones de una misma galaxia. Además, en algunas ocasiones se ha hecho necesario variar este parámetro para que los modelos de síntesis reproduzcan simultáneamente los valores de los índices tanto de las elípticas gigantes como de enanas y cúmulos globulares (Pedraz et al. 2001). En este sentido, Cenarro et al. (2003), a partir de su estudio del CaT en el infrarrojo cercano, sugieren una relación entre la pendiente de la IMF, la dispersión de velocidades y la metalicidad. Sin embargo, cuando se aplica esta relación a las metalicidades promedio medidas en el centro y a una distancia igual al radio efectivo en una muestra de elípticas gigantes (Sánchez-Blázquez 2004), se obtienen valores de la pendiente que al introducirlos en los modelos de síntesis, producen gradientes positivos de índices debidos a CN, Ca, Fe o Mg que no se corresponden con las observaciones. Por lo tanto, puesto que no existen evidencias claras de la necesidad de introducir la pendiente de la IMF como un nuevo parámetro libre, en esta sección se interpretarán los gradientes de índices únicamente como variaciones de la edad y de la metalicidad a lo largo del radio. Las diferencias entre los gradientes de edad y metalicidad que se obtengan con distintos índices se estudiarán como producidos por variaciones radiales de las abundancias relativas de los distintos elementos.

Para poder interpretar los gradientes de índices como variaciones de edad y de metalicidad se hizo uso de las predicciones de los modelos de síntesis evolutiva de Vazdekis (1999). En los paneles de la izquierda de las figuras 6.4 a 6.7 se representan (sobre la malla de las predicciones de los modelos) con un círculo los valores de los índices en el centro de las galaxias, y con una línea recta los gradientes, indicando el extremo de estas el valor de los índices a una distancia igual al radio efectivo calculado a partir de los gradientes de la tabla 6.1. Hay que resaltar que, a diferencia de las elípticas gigantes, que muestran mayor tendencia a tener gradientes más paralelos a las líneas de edad constante en la región de los diagramas donde suelen localizarse (Sánchez-Blázquez 2004), tanto las enanas como las compactas muestran una mayor variedad en los gradientes.

Tal y como se aprecia en estas figuras, al calcular las variaciones de edad y metalicidad a lo largo del radio de las galaxias, además de los propios gradientes de los índices, hay que considerar sus valores absolutos, pues una misma variación en la edad o la metalicidad produce diferentes cambios en los índices dependiendo de

Tabla 6.5: Gradientes en metalicidad y edad calculados a partir de los diferentes diagramas índice-índice (indicados en la primera línea). Para cada tipo de galaxias elípticas se indican los valores promedio y el error en la media.

Galaxia	A.P.	Tipo	H β - Mg ₂		H β - Mg ₁		H β - \langle Fe \rangle		H β - Fe6	
			[M/H]	Edad	[M/H]	Edad	[M/H]	Edad	[M/H]	Edad
NGC4415	6	dE	-0.014	-1.741	0.061	-2.816	-0.265	0.520	-0.290	0.690
NGC4431	182	dE	-0.383	9.148	-0.232	9.786	-0.154	9.092	-0.327	6.765
NGC4489	160	dE	-0.816	2.774	-0.166	1.576	-0.982	4.621	-0.918	4.445
NGC4515	0	dE	-0.492	1.064	-0.619	2.775	-0.421	1.093	-0.397	1.103
IC794	105	dE	0.288	-5.523	0.262	-5.350	-0.251	-0.988	-0.062	-2.303
IC3393	133	dE	-0.127	-3.180	-0.272	-1.996	-0.313	-0.645	-0.309	-0.654
UGC7436	300	dE	-0.312	2.941	0.395	-1.403	-0.203	2.566	-0.110	2.017
Promedio		dE	-0.265	0.783	-0.082	0.367	-0.370	2.322	-0.345	1.723
Error			0.134	1.829	0.131	1.874	0.107	1.342	0.106	1.157
NGC4464	146	cE	0.270	-8.041	0.227	-9.136	0.286	-8.181	0.314	-8.427
NGC4467	99	cE	0.728	-11.626	0.326	-9.719	-0.100	-1.247	-0.016	-2.167
NGC4486B	90	cE	-0.583	20.534	-0.742	25.474	-0.249	7.617	-0.360	7.999
NGC5846A	40	cE	-0.147	12.412	0.001	10.646	-0.682	18.865	-0.708	18.764
NGC5846A	182	cE	-0.449	0.922	-0.040	-7.284	-0.354	-2.707	-0.273	-1.850
IC767	75	cE	-0.117	0.600	0.160	0.366	-0.975	1.224	-1.059	1.306
VCC1148	170	cE	-0.598	19.790	-1.061	32.905	-0.353	12.123	-0.675	9.915
VCC1627	164	cE	-0.209	0.923	0.398	-1.280	-1.276	6.213	-1.255	6.103
Promedio		cE	-0.138	4.439	-0.091	5.247	-0.463	4.238	-0.504	3.955
Error			0.159	4.250	0.187	5.759	0.176	3.085	0.185	3.010
NGC2694	180	gE	0.493	1.716	1.009	-4.720	-0.754	23.174	-0.871	21.557
NGC3605	17	gE	-0.582	1.257	-0.687	1.888	-0.466	4.608	-0.385	4.590
NGC3641	60	gE	0.099	-8.777	0.217	-14.833	0.061	-9.100	-0.064	-6.524
NGC5846	77	gE	0.392	-20.716	0.444	-23.802	0.083	-13.693	0.076	-13.582
NGC5846	182	gE	-0.067	-4.944	0.019	-8.015	-0.625	2.557	-0.348	-1.477
Promedio		gE	0.067	-6.293	0.200	-9.896	-0.340	1.509	-0.318	0.913
Error			0.190	4.106	0.276	4.399	0.174	6.418	0.163	5.962

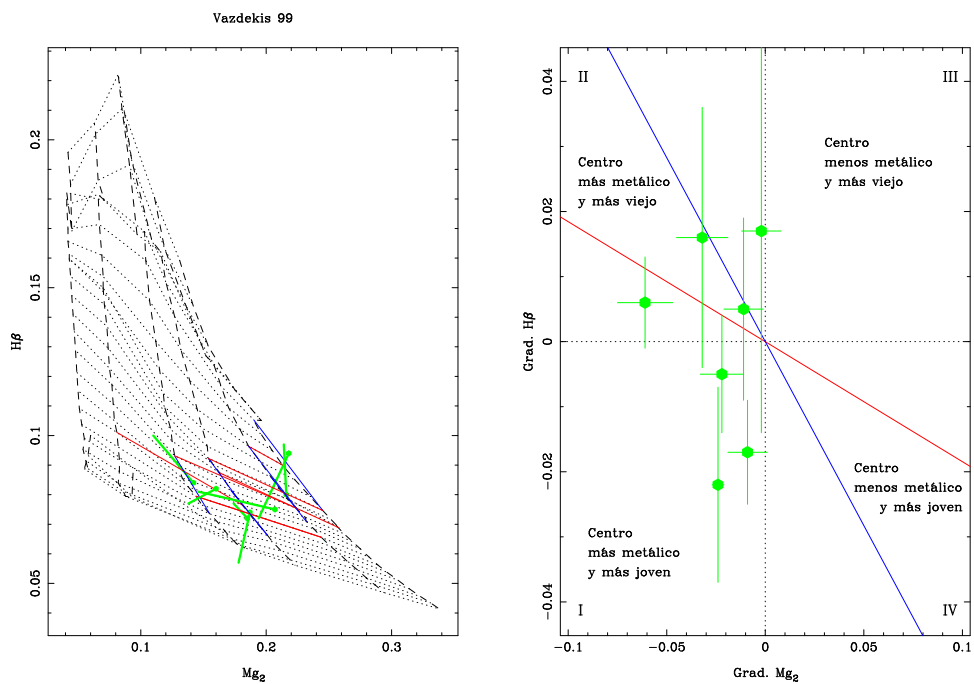


Figura 6.4: Gradientes en edad y metalicidad a partir de los gradientes en los índices $H\beta$ y Mg_2 , para las elípticas enanas (ver texto).

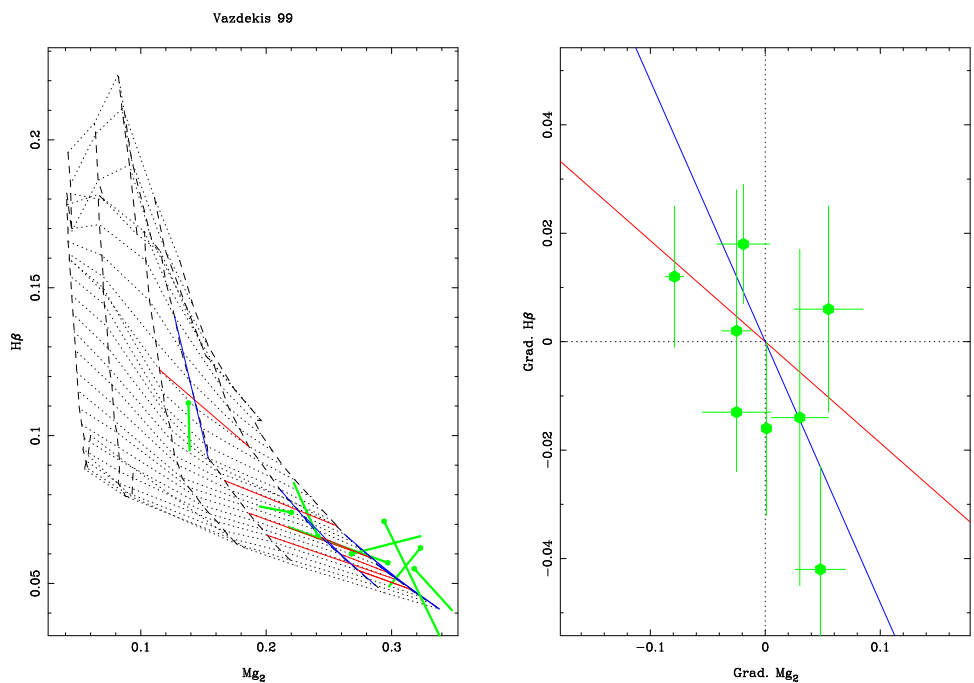


Figura 6.5: Gradientes en edad y metalicidad a partir de los gradientes en los índices $H\beta$ y Mg_2 , para las elípticas compactas (ver texto).

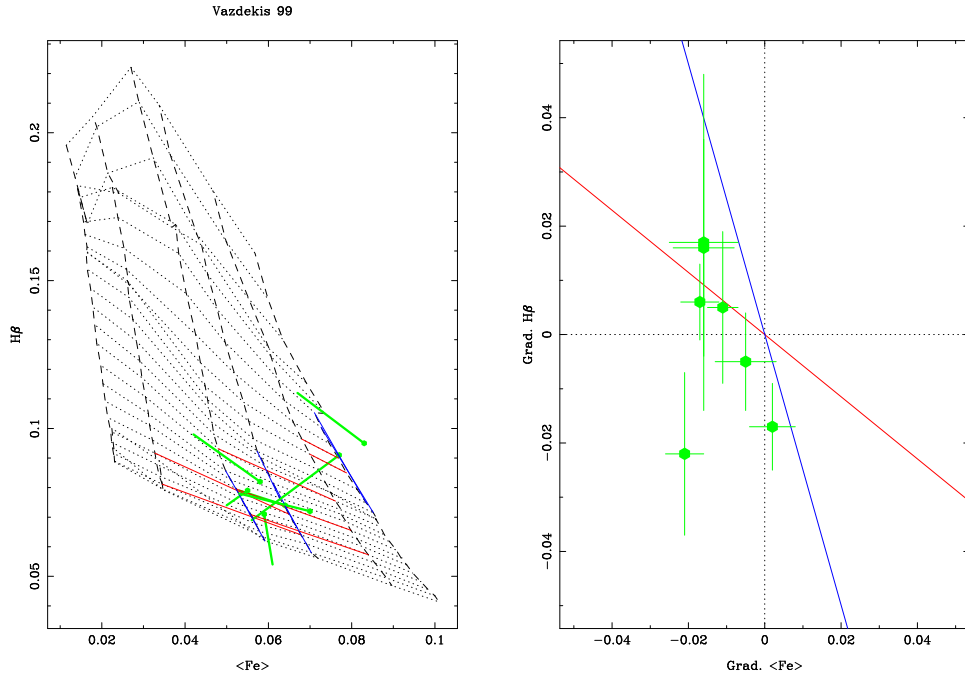


Figura 6.6: Gradientes en edad y metalicidad a partir de los gradientes en los índices H β y $\langle \text{Fe} \rangle$, para las elípticas enanas (ver texto).

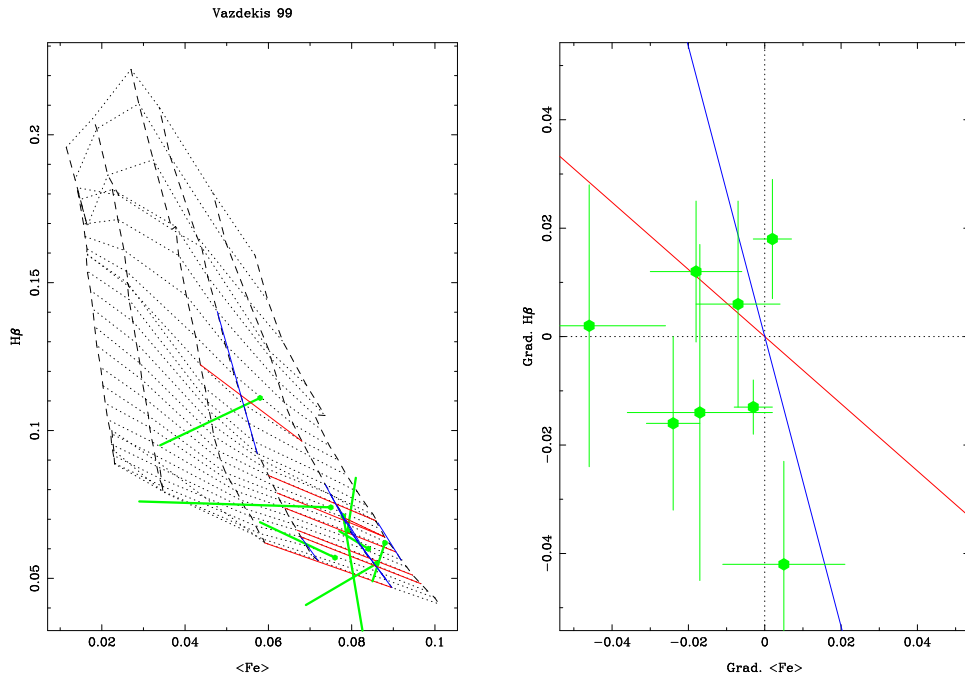


Figura 6.7: Gradientes en edad y metalicidad a partir de los gradientes en los índices H β y $\langle \text{Fe} \rangle$, para las elípticas compactas (ver texto).

la región del diagrama índice-índice en la que se encuentren. Con esta consideración y teniendo en cuenta también que los errores en la medida de los índices en las regiones más externas de las galaxias son mayores, en lugar de medir directamente los gradientes de edad y metalicidad como diferencia entre los valores que nos darían los modelos al interpretar los índices en el centro y a una distancia de un radio efectivo, se ha utilizado, como escala, la variación local de las predicciones de los modelos en la zona ocupada por los valores centrales de las galaxias y se han calculado los gradientes en edad y metalicidad multiplicando los gradientes de los índices por esta escala local.

En los paneles de la derecha de las figuras 6.4 a 6.7 se representan las variaciones de los índices cuando hay una variación de la metalicidad a edad constante (línea roja) y una variación de la edad a metalicidad constante (línea azul). Estas líneas de variación de los índices, que dependen de la zona del diagrama (y por tanto varían de una galaxia a otra) se han calculado a partir de los 3 valores de metalicidad y 5 de edad de la malla de los modelos más próximos a los valores centrales de las galaxias. En las figuras, por claridad, se representan solamente las líneas promedio de todas las calculadas y utilizadas para obtener los valores de los gradientes de edad y metalicidad en cada una de las galaxias de las submuestras. Una vez calculadas estas líneas, se pueden representar los gradientes medidos de los índices y obtener los gradientes de edad y metalicidad como proyección sobre dichas líneas de metalicidad o edad constantes. De esta forma se han obtenido los gradientes de edad y metalicidad para las galaxias presentados en la tabla 6.5, en la cual se muestran también los valores promedio y su error en la media para cada tipo de galaxias elípticas.

En estas gráficas las dos líneas delimitan cuatro regiones en las que la posición de los gradientes de un par de índices de una galaxia indica un centro más metálico y más joven (región I), más metálico y más viejo (región II), menos metálico y más viejo (región III) o menos metálico y más joven (región IV).

Tal y como se puede apreciar en estas gráficas, considerando las barras de error, las posiciones ocupadas por las elípticas enanas son compatibles, de forma generalizada, con tener centros más jóvenes y más metálicos (de forma más clara cuando se utiliza el gradiente de $\langle \text{Fe} \rangle$ que con el de Mg_2). Estas variaciones radiales se confirman además con los valores medios incluidos en la tabla 6.5. Si bien, considerando sus errores, los gradientes en metalicidad son claramente significativos, y más pronunciados para el $\langle \text{Fe} \rangle$ que para el de Mg_2 y, sin embargo, los gradientes en edad no son significativos en promedio. También se comprueba que los gradientes de índices en cinco de ellas son compatibles con deberse exclusivamente a variaciones en metalicidad, pero en las otras dos (NGC 4489, con menor $\Delta H\beta$, y NGC 4431) los gradientes de edad son claramente significativos con cualquiera de los dos índices metálicos.

Las elípticas compactas muestran una mayor dispersión, y aunque la mayoría también se localizan en la zona correspondiente a centros más jóvenes y más metálicos, hay dos galaxias (NGC 4467, sólo para Mg_2 , y NGC 4464) que parecen tener

poblaciones estelares más viejas y menos metálicas en sus regiones centrales. Hay que resaltar para este tipo de galaxias que, mientras para el Mg_2 solo en dos casos (NGC 4464, mayor $H\beta$, y VCC 1148) hay gradientes significativos de edad, para el $\langle Fe \rangle$ los gradientes de edad son generalizados, con la excepción de NGC 4467 y una de las medidas de NGC 5846A. Los valores promedio y sus errores reflejan igualmente la mayor dispersión de los gradientes de edad y metalicidad para este tipo de galaxias y, al igual que para las elípticas enanas, las variaciones radiales en metalicidad obtenidas con el índice $\langle Fe \rangle$ son más pronunciadas y significativas que con el Mg_2 .

Aunque ambas muestras, elípticas enanas y compactas, son relativamente pequeñas, los resultados son coincidentes con los encontrados para las elípticas gigantes por Sánchez-Blázquez (2004), en el sentido de que la mayoría de las galaxias tienen las regiones centrales más jóvenes y más metálicas, siendo sus gradientes compatibles con variaciones exclusivas en metalicidad. Hay sin embargo también casos particulares que presentan gradientes de signo contrario y algunos de ellos en los que la variación en edad es evidente.

6.5.1. Abundancias relativas a lo largo del radio

En el capítulo anterior se comprobó que las abundancias relativas de distintos elementos en las regiones centrales de las galaxias elípticas enanas son compatibles con los valores de la vecindad solar, a diferencia de las elípticas gigantes, para las cuales es conocida la sobreabundancia de algunos elementos α . En esta sección se estudia de forma cualitativa el comportamiento de las abundancias relativas a lo largo del radio de las elípticas enanas y compactas, con el fin de examinar si, al igual que en las gigantes, se encuentran gradientes en las abundancias relativas de algunos elementos (Sánchez-Blázquez 2004) o si, por el contrario, las razones entre elementos no varían de forma significativa a lo largo del radio.

En las figuras 6.8 y 6.9 se representan de nuevo diagramas Δ índice- Δ índice con Mg_2 y $\langle Fe \rangle$. Como ambos índices tienen sensibilidades similares a las variaciones en edad y metalicidad, estos diagramas muestran una mayor degeneración que los presentados en las figuras 6.4 - 6.7 en las que se utiliza $H\beta$. Por tanto, las pendientes de las rectas (azul y roja) que representan gradientes puros de edad y metalicidad son muy parecidas. Las galaxias que no presenten variaciones en las abundancias relativas de $[Mg/Fe]$ a lo largo del radio se deben situar a lo largo de estas rectas en los diagramas. Este es el caso para cuatro de las elípticas enanas. Las otras tres, aún teniendo en cuenta las barras de error, no son compatibles con las rectas de gradientes puros de edad y metalicidad. La desviación observada está más claramente reflejada en los valores promedio de la tabla 6.5 y es en el sentido de que los gradientes de metalicidad a partir de las líneas de Mg son más planos (menos negativos) que los encontrados con las líneas de Fe, lo cual sugiere un aumento de la razón $[Mg/Fe]$ con el radio.

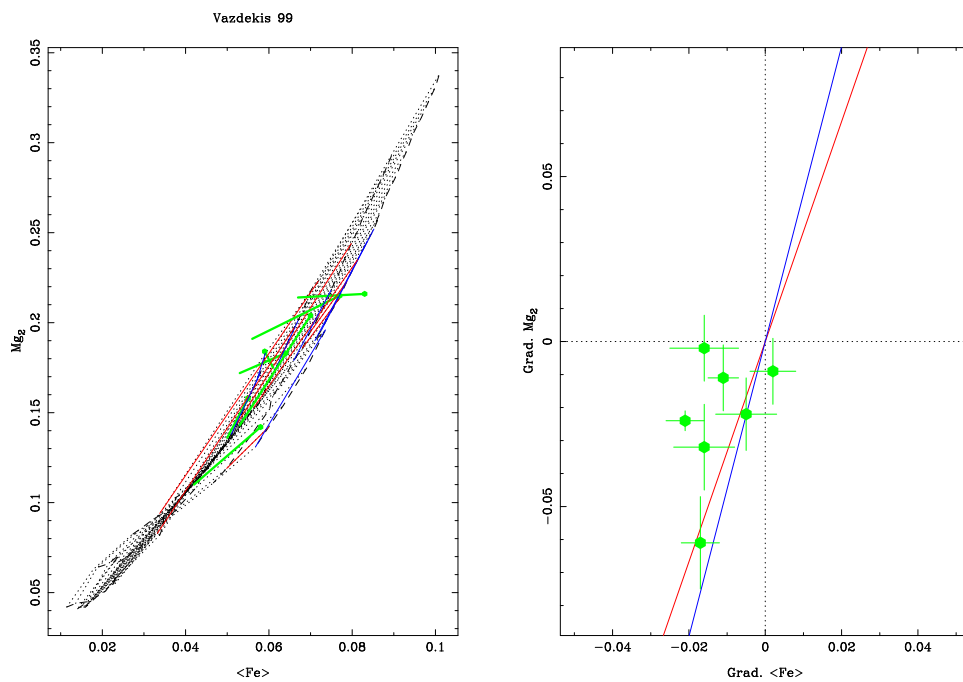


Figura 6.8: Gradientes en edad y metalicidad a partir de los gradientes en los índices Mg_2 y $\langle Fe \rangle$, para las elípticas enanas.

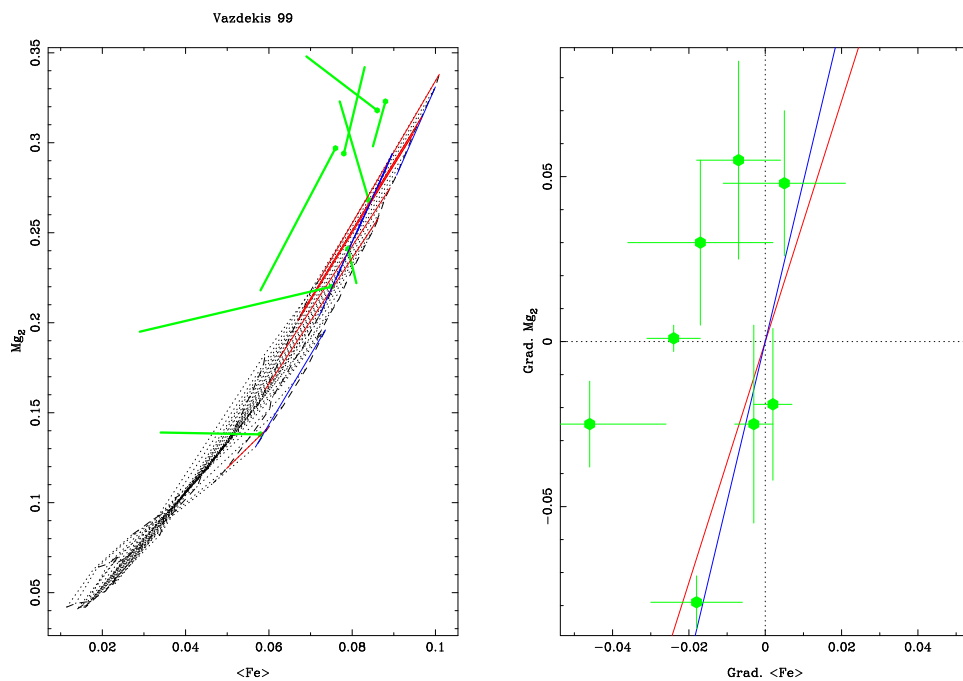


Figura 6.9: Gradientes en edad y metalicidad a partir de los gradientes en los índices Mg_2 y $\langle Fe \rangle$, para las elípticas compactas.

Es importante indicar que estos posibles gradientes de sobreabundancias van en el sentido opuesto que los encontrados por Sánchez-Blázquez (2004) para elípticas gigantes. En cualquier caso, la magnitud de los gradientes de $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ detectados en las enanas de la muestra es muy pequeña comparada con los gradientes para elípticas gigantes, por lo que no se dispone de una evidencia fuerte a favor de la existencia generalizada de gradientes positivos de $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ en elípticas enanas.

Las elípticas compactas muestran un comportamiento similar a las enanas, desviándose de las rectas de gradientes puros de edad o metalicidad muy poco en comparación con las gigantes. Hay que resaltar que cuatro de las compactas tienen gradientes positivos de Mg_2 y que otras dos (NGC 4464 y NGC 4486B), aunque presentan gradientes negativos al ajustar una recta a los valores de Mg_2 obtenidos hasta la distancia observada, realmente tienen una tendencia inicial creciente según nos alejamos del centro de la galaxia (ver apéndice C). Este comportamiento en los gradientes de Mg_2 es claramente diferente del observado para elípticas enanas o gigantes, que de forma generalizada muestran gradientes negativos para el Mg_2 , si bien significativamente mayores para las últimas. Cuando se combinan estos gradientes positivos de Mg_2 con los, típicamente negativos y más pronunciados que para las elípticas enanas (ver tabla 6.5), gradientes de Fe, se obtienen gradientes positivos en la razón de abundancias $[\text{Mg}/\text{Fe}]$, otra vez al contrario de lo que se observaba para las elípticas gigantes de la muestra de (Sánchez-Blázquez 2004).

6.5.2. Correlación del gradiente de metalicidad con otros parámetros

En las dos secciones anteriores se han interpretado las variaciones de los índices a lo largo del radio de las galaxias de la muestra como gradientes de edad, metalicidad o como cambios en las abundancias relativas de los distintos elementos. Aunque la muestra es reducida, y hay claros ejemplos de comportamientos singulares y diferenciados, de forma general, y de acuerdo con las predicciones de los modelos de síntesis de poblaciones, las variaciones de los índices se deben principalmente a gradientes en metalicidad (ver valores promedios y sus errores en la tabla 6.5). Sin embargo, estos gradientes son bastante menores que los previstos por los modelos de formación y evolución de las galaxias elípticas mediante un colapso disipativo. Por otra parte, estos modelos también predicen correlaciones entre los gradientes de metalicidad y otros parámetros de las galaxias. En esta sección se analizan dichas posibles relaciones. En las gráficas de la figura 6.10 se representan en la columna de la izquierda los gradientes de metalicidad obtenidos con los índices $\text{H}\beta$ y Mg_2 , y con $\text{H}\beta$ y $\langle\text{Fe}\rangle$ en la de la derecha, frente a la dispersión de velocidades central, el gradiente de este parámetro y la edad obtenida para las regiones centrales de las galaxias.

En estas gráficas se aprecia claramente, sin necesidad de un análisis estadístico más exhaustivo, la ausencia de correlación alguna entre los gradientes de metalicidad

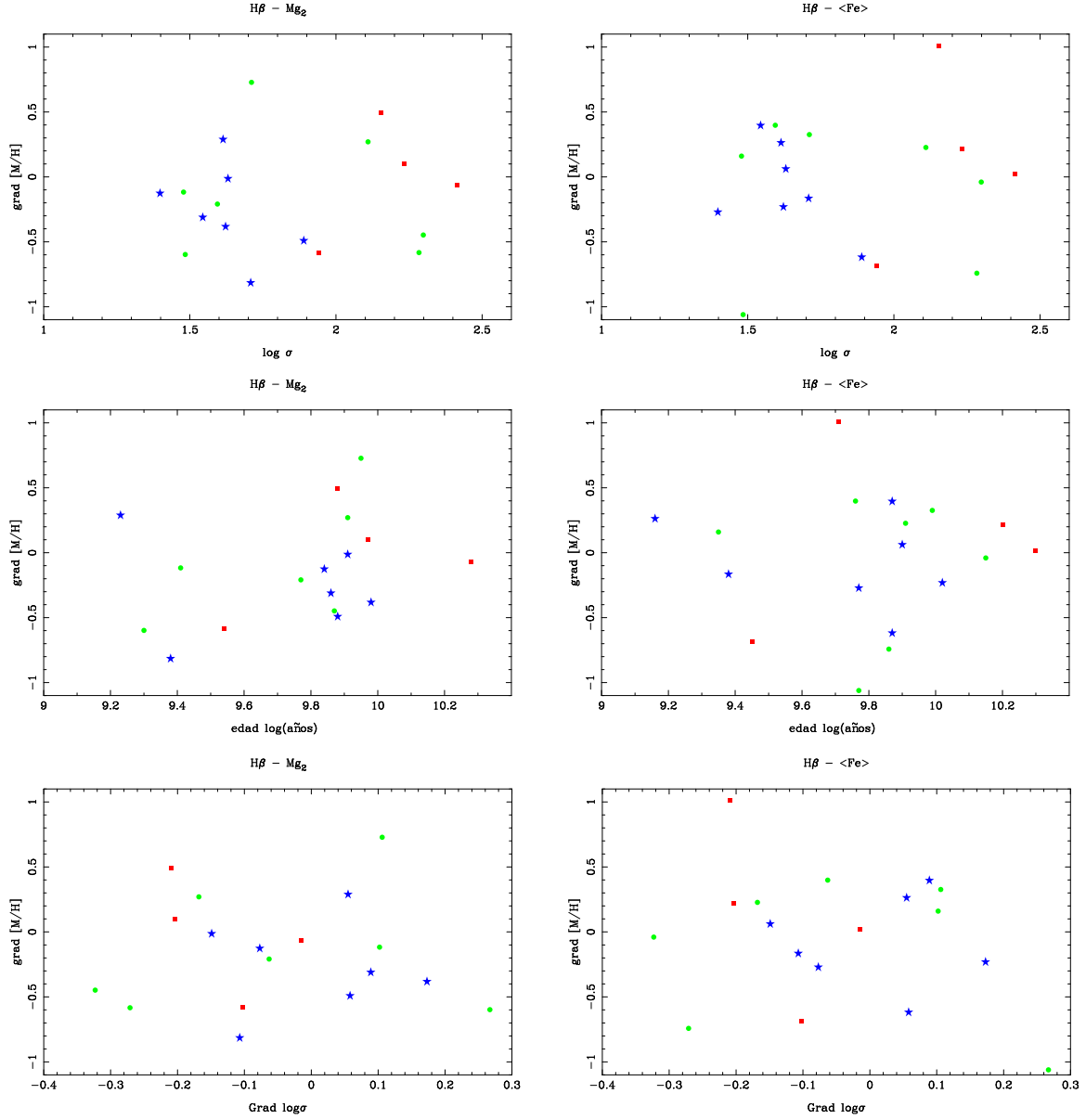


Figura 6.10: Gradientes de metalicidad obtenidos con los índices $H\beta$ y Mg_2 (columna izquierda) y con $H\beta$ y $\langle Fe \rangle$ (columna derecha), frente a la dispersión de velocidades central (arriba), frente a la edad en las regiones centrales de las galaxias (centro) y frente al gradiente de la dispersión de velocidades (abajo). Con los cuadrados rojos se identifican las elípticas gigantes, con círculos verdes las compactas y con estrellas azules las enanas.

y estos parámetros. Esto de nuevo indica que las galaxias de la muestra, de forma general, no se han formado mediante un colapso disipativo, ya que esto supondría la existencia de una fuerte correlación entre los gradientes de metalicidad y los valores centrales de la dispersión de velocidades (Larson 1974; Arimoto y Yoshii 1987). Igualmente, al no encontrar correlación con los gradientes de la dispersión de velocidades, tampoco se confirma que sea el gradiente del potencial local y la aparición retardada de vientos de supernova (Franx e Illingworth 1990; Mehlert et al. 2003), el mecanismo que origina los gradientes de metalicidad. Otro posible procedimiento para la generación de los gradientes sería la existencia de brotes posteriores de formación estelar en el centro de las galaxias, lo cual implicaría una correlación con la edad en las regiones centrales. Pero a diferencia de las elípticas gigantes, para las que si se encuentra correlación entre los gradientes de metalicidad y la edad central para algunos índices (Sánchez-Blázquez 2004), al examinar la muestra de gigantes, compactas y enanas de este trabajo, tampoco se encuentra dicha correlación. Aunque la muestra de elípticas enanas analizadas es aún demasiado pequeña, estos resultados apuntan a que el origen de los gradientes de metalicidad en estas galaxias puede ser diferente al de los gradientes en la elípticas gigantes, lo cual sugiere diferentes procesos de formación y evolución.

6.6. Conclusiones

Del estudio de los gradientes de índices de intensidad de líneas en la muestra de galaxias elípticas de este trabajo y de los gradientes de edad y metalicidad derivados, se han obtenido los resultados que se relacionan a continuación:

- El rango de gradientes de índices que presentan tanto las elípticas enanas como las compactas es más amplio de lo esperado simplemente a partir de los errores en las medidas. Además, para las elípticas enanas, no hay diferencias significativas entre la dispersión de los gradientes obtenidos para los distintos índices.
- Los gradientes medios de Mg_2 y Mg_1 son significativamente más planos en las elípticas enanas (-0.0223 y 0.0038) que en las gigantes (-0.0514 y -0.0224). Las compactas también muestran gradientes más planos en estos índices, pero con una menor significación.
- Los gradientes de índices de Fe ($Fe5015$, $Fe5270$, $Fe5335$ y $\langle Fe \rangle$), $H\beta$ y Mgb no presentan diferencias significativas entre los 3 tipos de galaxias elípticas.
- Las probabilidades de correlación entre los gradientes de índices y los valores en las regiones centrales de las galaxias elípticas, en el sentido de gradientes más negativos para mayores valores centrales, aumentan al incluir las 7 enanas de la muestra. Si bien, tan sólo para Mg_2 esta correlación es realmente significativa.

- No se encuentra correlación entre los gradientes de índices y la dispersión de velocidades en el centro de las galaxias elípticas. Tan solo se aprecia una tendencia para el Mg_2 , en el sentido de mayores gradientes en las galaxias de mayor masa. Pero también puede tratarse de un comportamiento bimodal.
- Al interpretar los gradientes de índices como gradientes en edad y metalicidad, mediante los modelos de síntesis de poblaciones, se encuentra que de forma general las elípticas enanas tienen poblaciones estelares algo más jóvenes y claramente más metálicas en las regiones centrales (de forma más clara cuando se obtienen estos parámetros con el índice $\langle Fe \rangle$ que con Mg_2). Las compactas muestran un comportamiento similar, pero con una mayor dispersión.
- De las siete enanas, los gradientes de índices en cinco de ellas son compatibles con deberse exclusivamente a variaciones en metalicidad, pero en las otras dos, los gradientes de edad son claramente significativos. Entre las compactas también hay claros ejemplos de gradientes de edad.
- Comparando los gradientes promedio de Mg_2 y $\langle Fe \rangle$ para las elípticas enanas, aunque considerando que su magnitud es menor que los detectados en las gigantes y que la muestra es pequeña, se aprecia un aumento de la razón de abundancias $[Mg/Fe]$ con el radio. Estos gradientes positivos de $[Mg/Fe]$ son aún más pronunciados en promedio para las compactas. Hay que indicar que este comportamiento de las abundancias relativas de Mg y Fe es el opuesto que el que se encuentra para las elípticas gigantes.
- No se ha encontrado correlación entre los gradientes de metalicidad de la muestra de elípticas gigantes, compactas y enanas ni con la dispersión de velocidades central, ni con el gradiente de esta, ni con la edad medida en las regiones centrales de las galaxias.

Capítulo 7

Conclusiones

En este trabajo se ha llevado a cabo un análisis espectroscópico de una muestra de galaxias elípticas enanas pertenecientes al cúmulo de Virgo. Se han estudiado sus propiedades cinemáticas y sus poblaciones estelares comparándolas con las de las elípticas gigantes.

La muestra de galaxias elípticas analizadas está compuesta por 42 elípticas enanas que son el objetivo principal de estudio, 8 gigantes que han servido de referencia y una submuestra de 7 elípticas compactas. Para todas ellas se han estudiado los espectros correspondientes a sus regiones centrales y para una fracción (7 enanas, 7 compactas y 4 gigantes) también se ha podido extender el estudio a lo largo del radio para analizar sus gradientes.

En los espectros se han medido algunos parámetros directamente como la velocidad radial y dispersión de velocidades, o la intensidad de líneas características de absorción, que a su vez han permitido obtener otros parámetros de las poblaciones estelares, como la edad y la metalicidad, de cuyo análisis se han extraído las siguientes conclusiones:

- Del análisis de la cinemática de las poblaciones estelares de las 7 elípticas enanas de la muestra se deduce que, a diferencia de lo considerado hasta la fecha, no todas las dEs están soportadas por la anisotropía en la distribución de velocidades. Una fracción importante (5) de ellas presentan altas velocidades de rotación, compatibles con las predicciones para sistemas soportados por rotación.
- Al comparar la variación de los índices con la dispersión de velocidades (ambos medidos en las regiones centrales de las galaxias), para la mayoría de los índices el comportamiento de las elípticas enanas es similar a la relación que se encuentra para las gigantes extendida hacia menores valores de la dispersión de velocidades. Sin embargo, de forma generalizada para todos los índices, la muestra de enanas presentan una mayor dispersión frente a la pendiente ajustada, que no está justificada por los errores en las medidas. Para los índices CN_1 y CN_2 se encuentran offsets relativamente significativos al comparar

las elípticas enanas con la muestra de gigantes de Trager (1998), pero las diferencias en sus pendientes no son significativas. Tan sólo para los índices de magnesio (Mg_b , Mg_1 y Mg_2) se encuentran diferencias realmente significativas, tanto para los offsets medidos como en las pendientes ajustadas. Es de resaltar también la gran similitud del comportamiento de los índices de hierro entre los distintos tipos de galaxias elípticas, sobre todo en los que son combinación de varios de ellos (Fe_2 , Fe_3).

- Las elípticas compactas siguen aparentemente las mismas relaciones que las gigantes. Sin embargo hay algunas diferencias como las que presentan los índices CN_1 , CN_2 y $G4300$, que para la dispersión de velocidades medidas en sus regiones centrales, son significativamente superiores a los esperados a partir de la relación $I-\sigma_0$ deducida de las gigantes.
- Cuando se representan en los diagramas índice–índice, las elípticas enanas ocupan zonas y muestran tendencias claramente diferenciadas de las gigantes. Aunque depende del par de índices utilizados, frecuentemente las enanas más brillantes suelen localizarse entre las gigantes y la zona ocupada por los cúmulos globulares pero, al ampliar la muestra de enanas hacia magnitudes menores, estas son más coincidentes con los cúmulos globulares. Sin embargo hay una diferencia muy significativa en los índices de la serie de Balmer, para los que los cúmulos se limitan a valores pequeños y, sin embargo, las enanas muestran un amplio rango de valores, indicando una alta dispersión en las edades.
- A diferencia de las gigantes, las elípticas enanas ocupan zonas más parecidas en las predicciones de los modelos de síntesis de poblaciones cuando se utilizan distintos indicadores metálicos. Como en la elaboración de los modelos utilizados en este trabajo se han utilizado las estrellas de la vecindad solar sin considerar posibles sobreabundancias de algunos elementos, se concluye que las abundancias relativas en las poblaciones estelares de las elípticas enanas son más parecidas a las de la vecindad solar que en el caso de las gigantes.
- Como consecuencia del punto anterior, también las edades y metalicidades obtenidas a partir de distintos índices muestran menos diferencias para las enanas que para las gigantes.
- En promedio, las elípticas enanas son significativamente más jóvenes y menos metálicas que las gigantes, independientemente de los índices utilizados. Las dispersiones respecto de la edad y metalicidad media, para las enanas, son claramente mayores de las que se esperarían a partir de los errores en las medidas.
- La relación edad–metalicidad existente para las elípticas gigantes no está tan definida para las enanas, pues estas tienen una mayor dispersión en metalicidad. Sin embargo, sí muestran una misma tendencia al tener metalicidades

menores las elípticas enanas con poblaciones estelares más jóvenes. Además las pendientes de las rectas ajustadas a la edad y metalicidad obtenidas con distintos índices son mayores.

- Al representar las edades y metalicidades frente a la dispersión de velocidades, o la magnitud absoluta, las elípticas enanas no se limitan a la extrapolación hacia valores menores, de σ o M_B , de las tendencias que se encuentran para las gigantes. En particular, muestran metalicidades menores que dicha extrapolación y una gran dispersión en las edades. Sin embargo cuando se representan simultáneamente edad, metalicidad y dispersión de velocidades, las enanas coinciden en el plano determinado por la posición de las gigantes en el espacio definido por estos tres parámetros. Tan solo son las elípticas enanas con mayores errores en las medidas de los índices, y por tanto de la edad y la metalicidad, las que se desvían significativamente de este plano.
- El rango de gradientes de índices que presentan tanto las elípticas enanas como las compactas es más amplio de lo esperado simplemente a partir de los errores en las medidas. Además, para las elípticas enanas, no hay diferencias significativas entre la dispersión de los gradientes obtenidos para los distintos índices.
- Los gradientes medios de Mg_2 y Mg_1 son significativamente más planos en las elípticas enanas (-0.0223 y 0.0038) que en las gigantes (-0.0514 y -0.0224). Las compactas también muestran gradientes más planos en estos índices, pero con una menor significación.
- Los gradientes de índices de Fe (Fe_{5015} , Fe_{5270} , Fe_{5335} y $\langle Fe \rangle$), $H\beta$ y Mgb no presentan diferencias significativas entre los 3 tipos de galaxias elípticas.
- Las probabilidades de correlación entre los gradientes de índices y los valores en las regiones centrales de las galaxias elípticas, en el sentido de gradientes más negativos para mayores valores centrales, aumentan al incluir las 7 enanas de la muestra. Si bien, tan solo para Mg_2 esta correlación es realmente significativa.
- No se encuentra correlación entre los gradientes de índices y la dispersión de velocidades en el centro de las galaxias elípticas. Tan solo se aprecia una tendencia para el Mg_2 , en el sentido de mayores gradientes en las galaxias de mayor masa. Pero también puede tratarse de un comportamiento bimodal.
- Al interpretar los gradientes de índices como gradientes en edad y metalicidad, mediante los modelos de síntesis de poblaciones, se encuentra que de forma general las elípticas enanas tienen poblaciones estelares algo más jóvenes y claramente más metálicas en las regiones centrales (de forma más clara cuando se obtienen estos parámetros con el índice $\langle Fe \rangle$ que con Mg_2). Las compactas muestran un comportamiento similar, pero con una mayor dispersión.

- De las siete enanas, los gradientes de índices en cinco de ellas son compatibles con deberse exclusivamente a variaciones en metalicidad, pero en las otras dos, los gradientes de edad son claramente significativos. Entre las compactas también hay claros ejemplos de gradientes de edad.
- Comparando los gradientes promedio de Mg_2 y $\langle Fe \rangle$ para las elípticas enanas, aunque considerando que su magnitud es menor que los detectados en las gigantes y que la muestra es pequeña, se aprecia un aumento de la razón de abundancias $[Mg/Fe]$ con el radio. Estos gradientes positivos de $[Mg/Fe]$ son aún más pronunciados en promedio para las compactas. Hay que indicar que este comportamiento de las abundancias relativas de Mg y Fe es el opuesto que el que se encuentra para las elípticas gigantes.
- No se ha encontrado correlación entre los gradientes de metalicidad de la muestra de elípticas gigantes, compactas y enanas ni con la dispersión de velocidades central, ni con el gradiente de esta, ni con la edad medida en las regiones centrales de las galaxias.

Bibliografía

- Arimoto N., Yoshii Y., 1987, A&A, 173, 23
- Armandroff T.E., Jacoby G.H., Davies J.E., 1999, AJ, 118, 1220
- Babul A., Rees M., 1992, MNRAS, 255, 346
- Bender R., Nieto J.L., 1990, A&A, 246, 349
- Bender R., Paquet A., Nieto J.L., 1991, A&A, 246, 349
- Bender R., Burstein D., Faber S.M., 1992, ApJ, 399, 462
- Bender R., Surma P., 1992, A&A, 258, 250
- Bender R., Burstein D., Faber S.M., 1993, ApJ, 411, 153
- Bernardi M., Renzini a., da Costa L., Wegner G., Alonso M.V., Pellegrini P.S., Rité C., Willmer C., 1998, ApJ, 508, 143
- Binggeli B., Sandage A., Tammann G.A., 1985, AJ, 90, 1681
- Binggeli B., Tammann G.A., Sandage A., 1987, AJ, 94, 251
- Binggeli B., Sandage A., Tammann G.A., 1988, ARA&A, 26, 509
- Binggeli B., Tarenghi M., Sandage A., 1990, A&A, 228,42
- Bingelli B., Cameron L.M., 1991, A&A, 252, 27
- Bingelli B., Cameron L.M., 1993, A&AS, 98, 297
- Bingelli B., Jerjen H., 1998, A&A, 333, 17
- Binggeli B., en Dwarf Galaxies, ESO Conf. and Workshop Proc. 49, eds. Meylan G., Prugniel P.,(Haute Provence), 13
- Binney J., 1978, MNRAS, 183, 501
- Blakeslee J., Lucey R., Barris B., Hudson M., Tonry J., 2001, MNRAS, 327, 1004

- Blanchard A., Valls-Gabaud D., Mamon G.A., 1992, A&A, 264, 365
- Bothun G. D., Caldwell, N., 1984, ApJ, 280, 528
- Bothun G. D., Mould J. R., Wirth A., Caldwell N., 1985, AJ, 90, 697
- Bothun G. D., Mould J. R., Caldwell N., MacGillivray H.T., 1986, AJ, 92, 1007
- Bothun G.D., Mould J.R., 1988, ApJ, 324, 123
- Bower R.G., Lucey J.R., Ellis R.S., 1992, MNRAS, 254, 601
- Bressan A., Chiosi C., Tantaló R., 1996, A&A, 311, 425
- Bruzual A.G., 1983, ApJ, 273, 105
- Bruzual A.G., Charlot S., 1993, ApJ, 405, 538
- Bruzual A.G., Charlot S., 2003, MNRAS, 344, 1000
- Burstein D., 1979, ApJ, 232, 74
- Burstein D., Faber S.M., Gaskell C.M., Krumm N., 1984, ApJ, 287, 586
- Burstein D., Heiles C., 1982, AJ, 87, 1165
- Burstein D., Davies R.L., Dressler A., Faber S.M., Lynden-Bell D., Terlevich R., Wegner G., 1988, en *Towards Understanding Galaxies at Large Redshifts*, Ed: R.G.Kron y A. Renzini, (Dordrecht Kluwer) p17
- Caldwell N., 1987, AJ, 94, 1116
- Cardiel N., 1999, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- Cardiel N., Gorgas J., Aragón-Salamanca A., 1998, MNRAS, 277, 502
- Cardiel N., Gorgas J., Cenarro J., González J.J., 1998, A&AS, 127, 597
- Cardiel N., Gorgas J., Sánchez-Blázquez P., Cenarro J., Pedraz S., Bruzual G., Klement J., 2003, A&A, 409, 511
- Carollo C.M., Danziger I.J., Buson L. 1993, MNRAS, 265, 553
- Carter D., Mobasher B., Bridges T.J., Poggianti B.M., Komiyama Y., Kashi-kawa N., Doi M., Iye M., Okamura S., Sekiguchi M., Shimasaku K., Yagi M., Yasuda N., 2002, ApJ, 567, 772
- Cenarro A.J., Cardiel N., Gorgas J., Peletier R.F., Vazdekis A., Prada F., 2001a, MNRAS, 326, 959

- Cenarro A.J., Gorgas J., Cardiel N., Pedraz S., Peletier R.F., Vazdekis A., 2001b, MNRAS, 326, 981
- Cenarro A.J., Gorgas J., Vazdekis A., Cardiel N., Peletier R.F., 2003, MNRAS, 339, L12
- Cenarro A.J., Gorgas J., Cardiel N., Vazdekis A., Peletier R.F., 2002, MNRAS, 329, 863
- Cole S., Lacey C.G., Baugh C.M., Frenk C.S., 2000, MNRAS, 319, 168
- Colless M., 1989, MNRAS, 237, 799
- Colless M., Burstein D., Davies R.L., McMahan R.K., Saglia R.P., Wegner G., 1999, MNRAS, 303, 813
- Conselice C.J., Gallagher J.S., Wyse R.F.G., 2001, ApJ, 559, 791
- Conselice C.J., Gallagher J.S., Wyse R.F.G., 2002, AJ, 123, 2246
- Davies R.L., Efstathiou G., Fall S.M., Illinworth G., Schechter P.L., 1983, ApJ, 266, 41
- Davies R.L., Burstein D., Dressler A., Faber S.M., Lynden-Bell D., Terlevich R., Wegner G., 1987, ApJS, 64, 581
- Davies J.I., Phillips S., Cawson M.G.M., Disney M.J., Kibblewhite E.J., 1988, MNRAS, 232, 239
- Davies R.L., Sadler E.M., Peletier R., 1993, MNRAS, 262, 650
- Da Costa G.S., Armandroff T.E., Caldwell N., Seitzer P., 1996, AJ, 112, 2576
- Da Costa G.S., Armandroff T.E., Caldwell N., Seitzer P., 2000, AJ, 119, 705
- De Rijcke S., Dejonghe H., Zeilinger W.W., Hau G.K.T., 2001, ApJ, 559, L21
- de Vaucouleurs, G., 1948, Ann. d'Astrophys., 11, 247
- Durrell P.R., Ciardullo R., Feldmeier J.J., Jacoby G.H., Sigurdsson S., 2002, ApJ, 570, 119
- Dressler A., 1978, ApJ, 223, 765
- Dressler A., Lynden-Bell D., Burstein D., Davies R.L., Faber S.M., Terlevich R.J., Wegner G., 1987, ApJ, 313, 42
- Drinkwater M.J., Gregg M.D., Colless M., 2001a, ApJ, 548, 139

- Drinkwater M.J., Gregg M.D., Holman B.A., Brown M.J.I., 2001b, MNRAS, 326, 1076
- Edwards S.A., Colless M., Bridges T.J., Carter D., Mobasher B., Poggianti B.M., 2002, ApJ, 567, 178
- Efstathiou G., Gorgas J., 1985, MNRAS, 215, 37
- Efstathiou G., 1992, MNRAS, 256, 43P
- Faber S.M., 1973, ApJ, 179, 731
- Faber S.M., 1977, in The Evolution of Galaxies and Stellar Populations. B.M. Tinsley y R.B. Larson, New Heaven: Yale University Observatory, 157
- Faber S.M., Friel E.D., Burstein D., Gaskell C.M., 1985, ApJS, 57, 711
- Faber S.M., Wegner G., Burstein D., Davies R., Dressler A., Lynden-Bell D., Terlevich R., 1989, ApJS, 69, 763
- Faber S.M., Tremaine S., Edward A.A., Byun Y.I., Dressler A., Gebhardt K., Grillmair C., Kormendy J., Lauer T.R., Richstone D., 1997, AJ, 114, 1771
- Ferguson H.C., 1992, MNRAS, 255, 389
- Ferguson H.C., 1994, en ESO/OHP Workshop on Dwarf Galaxies, Meylan G. y Prugniel P., eds., ESO, p.475
- Ferguson H.C., Binggelli B., 1994, ARA&A, 6, 67
- Ferguson H.C., Sandage A., 1988, AJ, 96, 1520
- Ferguson H.C., Sandage A., 1989, ApJ, 346, 53
- Ferguson H.C., Sandage A., 1991, AJ, 101, 765
- Ferrara A., Tolstoy E., 2000, MNRAS, 313, 291
- Fisher D., Franx M., Illingworth G.D., 1995, ApJ, 448, 119
- Fouqué P., Solanes J.M., Sanchís T., Balkowski C., 2001 A&A, 375, 770
- Franx M., Illingworth G., 1990, ApJ, 359, L45
- Gaidos E.J., 1997, AJ, 113, 117
- Gallagher J.S., Hunter D.A., 1989, AJ, 98, 806
- Gallart C., 2000, "Stars, Gas and Dust in Galaxies" ASP Conference Series, Vol. 221, 133 eds. Alloin D., Galaz G., Olsen K.

- Gallagher J.S., Conselice C.J., Wyse R.F.G., 2001, en "The Magellanic Clouds and other dwarf galaxies." eds. De Boer K.S., Dettmar R.J., Klein U., (Bad Honnef, Germany), p.213
- Garilli B., Maccagni D., Andreon S., 1999, A&A, 342, 408
- Geha M., Guhathakurta P., van der Marel R.P., 2002, AJ, 124, 3073
- Geha M., Guhathakurta P., van der Marel R.P., 2003, AJ, 126, 1794
- Girardi L., Bressan a., Bertelli G., Chiosi C., 2000, A&AS, 141, 371
- González J.J., 1993, Tesis Doctoral, University of California, Santa Cruz
- González J.J., Gorgas J., 1996, ASP Conference Series, 86 *Fresh Views of Elliptical Galaxies* A. Buzzoni, A. Renzini, A. Serrano, p225
- Gorgas J., Efstathiou G., Aragón-Salamanca A., 1990, MNRAS, 245, 217
- Gorgas J., Faber S.M., Burstein D., González J.J., Courteau S., Prosser C., 1993, ApJS, 86, 153
- Gorgas J., Pedraz S., Guzmán R., Cardiel N., González J., 1997, ApJ, 481, L19
- Gorgas J., Cardiel N., Pedraz S., González J., 1999, A&AS, 139, 29
- Gorgas J., et al 2004, en preparación
- Grebel E.K., 2000, A&AS, 196, 2001
- Grebel E.K., 2001, en "The Magellanic Clouds and other dwarf galaxies." eds. De Boer K.S., Dettmar R.J., Klein U., (Bad Honnef, Germany), p.45
- Greggio L., 1997, MNRAS, 285, 151
- Guzmán R., Lucey J.R., Carter D., Terlevich R.J., 1992, MNRAS, 257, 187
- Halliday C., Davies R.L., Kuntschner H., Birkinsaw M., Bender R., Saglia R.P., Baggley G., 2001, MNRAS. 326, 473
- Harbeck D., Grebel E., Holtzman J., Guhathakurta P., Brnadner W., Geisler D., Sarajedini A., Dolphin A., Hurley-Keller D., Mateo M., 2001, AJ, 122, 3092
- Hayes D.S., Latham D.W., 1975, ApJ, 197, 593
- Held E., Mould J.R., 1994, AJ, 107, 1307
- Held E.V., de Zeeuw T., Mould J., Picard A., 1992, AJ, 103, 851

- Huchtmeier W.K., Karachentsev I.D., Karachentseva V.E., 2001, *Å*, 377, 801
- Hurley-Keller D., Mateo M., Nemec J., 1998, *AJ*, 115, 1840
- Jablonka P., Gorgas J., Goudfrooij P., 2002, *Astrophysics and Space Science*, 281, 367
- Jerjen H., 1995, PhD thesis, University of Basel
- Jerjen H., Binggeli B., Freeman K., 2000, *AJ*, 119, 593
- Jerjen H., Rekola R., Takalo L., Coleman M., Valtonen M., 2001, *A&A*, 380, 90
- Jørgensen I., Franx M., Kjaergaards P., 1996, *MNRAS*, 280, 167
- Jørgensen I., 1999, *MNRAS*, 306, 607
- Karachentsev I.D., Karachentseva V.E., Dolphin A.E., 2000, Geisler D., Grebel E.K., Guhathakurta P., Hodge P., Sarajedini A., Seitzer P., Sharina M.E., *Å*, 363, 117
- Karachentsev I.D., Karachentseva V.E., Huchtmeier W.K., 2001, *Å*, 366, 428
- Kauffmann G., 1996, *MNRAS*, 281, 487
- Kelson D.D., Van Dokkum P.G., Franx M., Illingworth G.D., Fabricant D., 1997, *ApJ*, 478, L13
- Kobayashi C., Arimoto N., 1999, *ApJ*, 527, 573
- Kobayashi C., 2004, *MNRAS*, 347, 740
- Koo D.C., Guzmán R., Faber S.M., Illingworth G.D., Bershadsky M.A., Kron R.G., Takamiya M., 1995, *ApJ*, 440, L49
- Koo D.C., Guzmán R., Gallego J., Wirth G.D., 1997, *ApJ*, 478, L49
- Kormendy J., 1985, *ApJ*, 295, 73
- Kormendy J., Bender R., 1994, in *Dwarf Galaxies*, ESO Conf. and Workshop Proc. 49, eds. Meylan G., Prugniel P., (Haute Provence), 161
- Kuntschner H., 1998, Ph.D. thesis, Univ. Durham
- Kuntschner H., Davies R., 1998, *MNRAS*, 295, L29
- Kuntschner H., 2000, *MNRAS*, 315, 184

- Kuntschner H., Lucey J., Smith R., Hudson M.J., Davies R., 2001, MNRAS, 323, 615
- Lacey S., Cole S., 1993, MNRAS, 262, 627
- Larson R.B., 1974, MNRAS, 169, 229
- Lauer T.R., Ajhar E.A., Byun Y., Dressler A., Faber S.M., Grillmar C., Kormendy J., Richstone D., Tremaine S., 1995, AJ, 110, 2622
- Leitherer C., Robert C., Drissen L., 1992, ApJ, 401, 596
- Lin D.N.C., Faber S.M., 1983, ApJ, 266, L21
- Lin D.N.C., Murray S.D., 1992, ApJ, 394, 523
- Lopez-Cruz O., Yee H.K.C., Brown J.P., Jones C., Forman W., 1997, ApJ, 475, L97
- Lugger P.M., 1986, ApJ, 303, 535
- Lumsden S.L., Collins C.A., Nichol R.C., Eke V.R., Guzzo L., 1997, MNRAS, 290, 119
- Martinez-Delgado D., Gallart C., Aparicio A., 1999, AJ, 118, 862
- Massey P., Strobel K., Barnes J.V., Anderson E., 1988, ApJ, 328, 315
- Mateo M., Olszewski E., Welch D.L., Fischer P., Kunkel W., 1991, AJ, 102, 914
- Mateo M., 1998, ARA&A, 36, 435
- Mehlert D., Thomas D., Saglia R.P., Bender R., Wegner G., 2003, A&A, 407, 423
- Mihos J.C., Hernquist L., 1994, ApJ, 427, 112
- Moore B., Lake G., Katz N., 1998, ApJ, 495, 139
- Moore B., Lake G., Quinn T., Stadel J., 1999, MNRAS, 304, 465
- Murray S.D., White S.D.M., Blondin J.M., Lin D.N.C., 1993, ApJ, 407, 588
- Oke J.B., 1990, AJ, 99, 1621
- Ostriker J.A., 1993, ARA&A, 31, 589
- Pedraz S., Gorgas J., Cardiel N., Guzmán R., 1998, Ap&SS, 263, 159

- Pedraz S., Gorgas J., Cardiel N., Sánchez-Blázquez P., 2001, en *Highlights of Spanish Astrophysics II*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, eds. J. Zamorano, J. Gorgas & J. Gallego, p. 149
- Pedraz S., Gorgas J., Cardiel N., Sánchez-Blázquez P., Guzmán R., 2002, MNRAS, 332, 59
- Peletier R.F., 1989, Tesis doctoral, Universidad Paul Sabatier, Toulouse.
- Peterson R.C., Caldwell N., 1993, AJ, 105, 1411
- Phillips S., Parker Q.A., Schwarzenberg J.M., Jones J.B., 1998, ApJ193L, 59
- Prugniel P., 1989, Tesis doctoral, Universidad de Groningen, Holanda.
- Prugniel P., Simien F., 1996, A&A, 309, 749
- Prugniel Ph., Simien F., 2002, "The Evolution of Galaxies. III. From Simple Approaches to Self-Consistent Models", Hensler G., eds. Kiel, Germany
- Rauzy S., Adami C., Mazure A., 1998, A&A, 337, 31
- Ryden B.S., Terndrup D.M. 1994, ApJ, 425, 43
- Ryden B.S., Terndrup D.M., Podge R.W., Lauer T.R., 1999, ApJ, 517, 650
- Saha A., Hoessel J.G., 1990, AJ, 99, 97
- Salpeter E.E., 1955, ApJ121, 161
- Sánchez-Blázquez P., 2004, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- Sandage A., Binggeli B., 1984, AJ, 89, 919
- Sandage A., Binggeli B., Tammann G.A., 1985, AJ, 90, 1759
- Sargent, W.L., Schechter, P.L., Boksenberg, A., Shortridge, K., 1977, ApJ, 212, 326
- Savage B.D., Mathis J.S., 1979, ARA&A, 17, 73
- Saviane I., Rosenberg A., Piotto G., Aparicio A., 2000, Å, 355, 966
- Schechter P., 1976, ApJ, 203, 297
- Schlegel D., Finkbeiner D., Davis, M., 1998, ApJ, 500, 525
- Schweizer F., Seitzer P., Faber S.M., Burstein D., Dalle Ore C., Gonzalez J., 1990, ApJ, 364, L33

- Secker J., Harris W.E., Plummer J.D., 1997, PASP, 109, 1377
- Seitzer P., Grebel E.K., Dolphin A.E., Geisler D., Guhathakurta P., Hodge P.W., Karachentsev I.D., Karachentseva V.E., Sarajedini A., 2001, A&AS, 198, 909
- Sérsic J.L., 1968, Atlas de galaxias australes. Observatorio Astronómico, Córdoba
- Simien F., Prugniel Ph., 2002, A&A, 384, 371
- Smith R.J., Lucey J.R., Hudson M.J., Schlegel D.J., Davies R.L., 2000, MNRAS, 313, 469
- Stiavelli M., Miller B., Ferguson H.C., Mack J., Whitmore B.C., Lotz J., 2001, AJ, 121, 1385
- Tantalo R., Chiosi C., 2003, astro-ph0305247
- Theis Ch., Burkert A., Hensler G., 1992, A&A, 265, 465
- Thompson L.A., Gregory S.A., 1993, AJ, 106, 2197
- Thomas D., Maraston C., Bender R., 2003, MNRAS, 339, 897
- Thuan T.X., 1985, ApJ, 299, 881
- Tonry J.L., Davis, M., 1979, AJ, 84, 1511
- Tonry J.L., Schneider D.P., 1988, AJ, 96, 807
- Toomre A., Toomre J., 1972, ApJ, 178, 623
- Trager S.C., 1997, Tesis Doctoral, University of California, Santa Cruz
- Trager S.C., Worthey G., Faber S.M., Burstein D., Gonzalez J.J., 1998, ApJS, 116, 1
- Trager S.C., Faber S.M., Worthey G., Gonzalez J., 2000a, AJ, 119, 1645
- Trager S.C., Faber S.M., Worthey G., Gonzalez J., 2000b, AJ, 120, 165
- Tremaine S., Gebhardt K., Bender R., Bower G., Dressler A., Faber S.M., Filipenko A.V., Green R., Grilmair C., Ho L., Kormendy J., Lauer T.R., McGorrian J., Pinkney J., Richstone D., 2002, as-ph0203468
- Trentham N., 1997, MNRAS, 286, 133
- Trentham N., 1998, MNRAS, 294, 193

Trentham N., Hodgkin S., 2002, MNRAS, 333, 423

Trujillo I., Graham A.W., Caon N., 2001, MNRAS, 326, 869

Vader J.P., Sandage A., 1991, ApJ, 379, L1

Valotto C.A., Nicotra M.A., Muriel H., Lambas D.G., 1997, ApJ, 479, 90

Van den Bergh S., 1959, Publ. David Dunlap Obs., 2, 147

Van den Bergh S., 1972, ApJ, 171, L31

Van den Bergh S., 2000, PASP, 112, 529

Vazdekis A., 1999, ApJ, 513, 224

Vigroux L., Lachieze-Rey M., Souviron J., Vader J.P., 1985, en The Virgo Cluster, Richter O.-G., Binggeli, B. eds. ESO, Garching, p. 297

Weidner C., Kroupa P., 2005, ApJ, 625, 754

White S.D.M., Frenk C.S., 1991, ApJ, 379, 52

Wilkinson M.I., Kleyna J., Evans N.W. Gilmore G., 2002, MNRAS,

Worthey G., Faber S.M., González J.J., 1992, ApJ, 398, 69

Worthey G., Faber S.M., González J.J., Burstein D., 1994, ApJS, 94, 687

Worthey G., 1994, ApJS, 95, 107

Worthey G., Trager S.C., Faber S.M., 1996, en A. Buzzoni, A. Renzini y A. Serrano (eds.) ASP Conf.Ser. Vol 86. *Fresh Views of Elliptical Galaxies* Astron. Soc. Pac., San Francisco, p.203

Worthey G., Ottaviani D.L., 1997, ApJS, 111, 377

Worthey G., 1998, PASP, 110, 888

Worthey G., Collobrt M., 2003, ApJ, 586, 17

Yagi M., Kashikawa N., Sekiguchi M., Doi M., Yasuda N., Shimasaku K., Okamura S., 2002, AJ, 123, 87

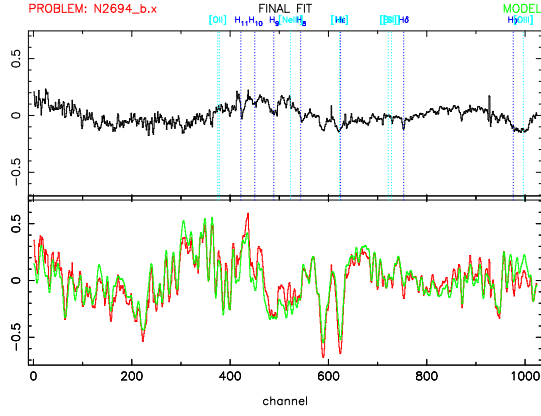
Apéndice A

Velocidad radial y dispersión de velocidades centrales

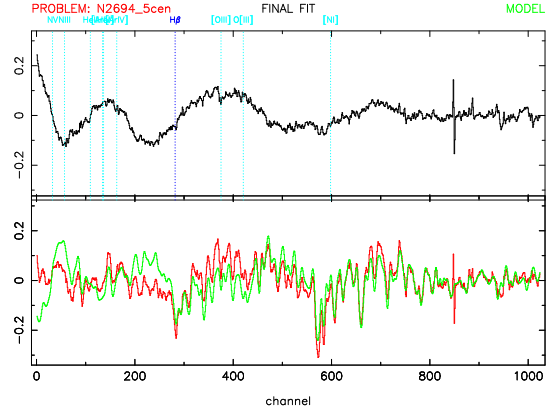
En este apéndice se muestran los ajustes entre los espectros centrales de las galaxias y los modelos creados a partir de la combinación óptima de los espectros estelares. Estos han sido desplazados con la velocidad radial y ensanchados con la dispersión de velocidades obtenidas con *movel* (ver sección 4). En cada gráfica, el panel inferior muestra el ajuste y el superior sus residuos.

Hay una gráfica por cada una de las entradas de la tabla 3.2 en la que se dan las velocidades medidas. Como se aprecia en la tabla, hay algunas galaxias observadas en distintas campañas. Los rangos espectrales son los indicados en la tabla 2.1 para cada una de ellas, pero teniendo en cuenta que se ha suprimido regiones, de tamaño variable, en ambos extremos del espectro, como paso necesario para conseguir las mejores medidas posibles al utilizar el programa *movel*. El número entre paréntesis al lado del nombre de cada galaxia indica la campaña en la que fue observada.

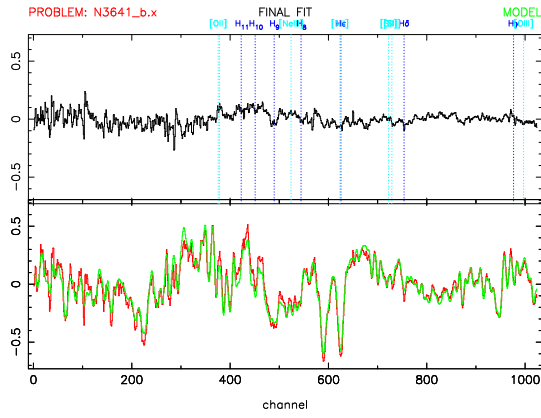
NGC2694 (4b)



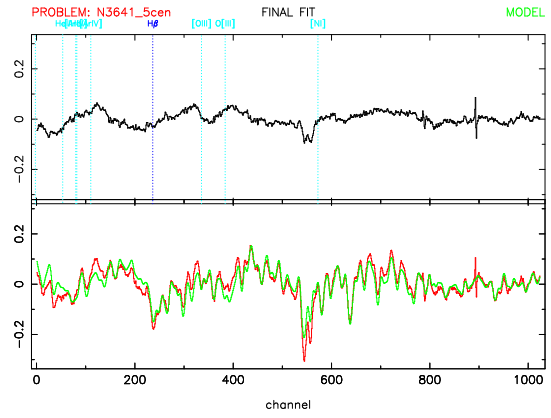
NGC2694 (4r)



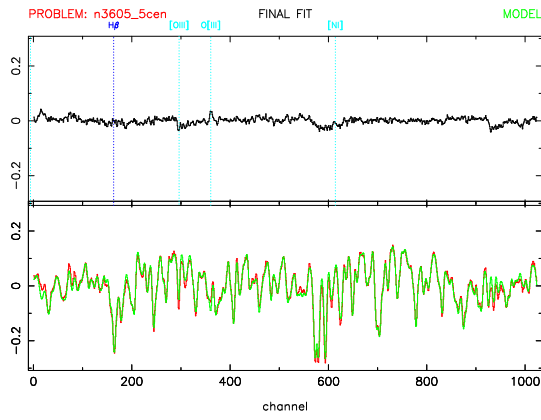
NGC3641 (4b)



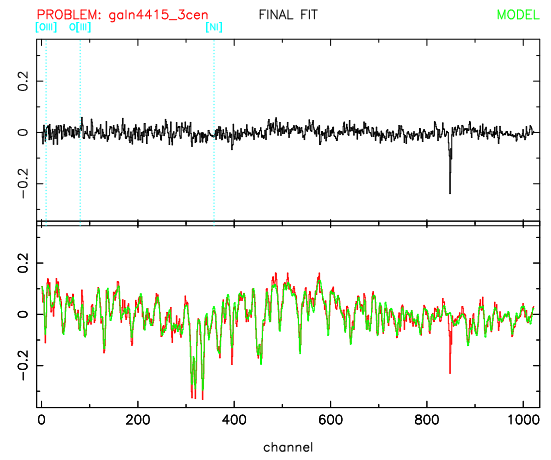
NGC3641 (4r)



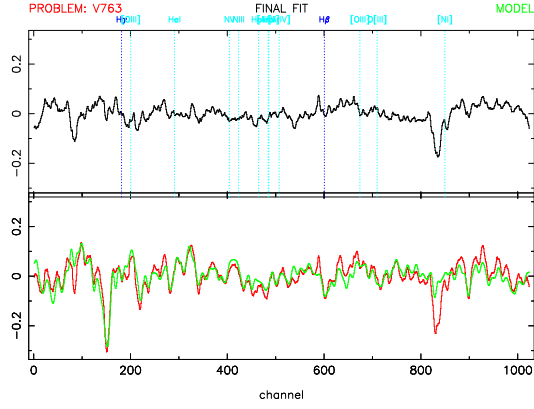
NGC3605 (3)



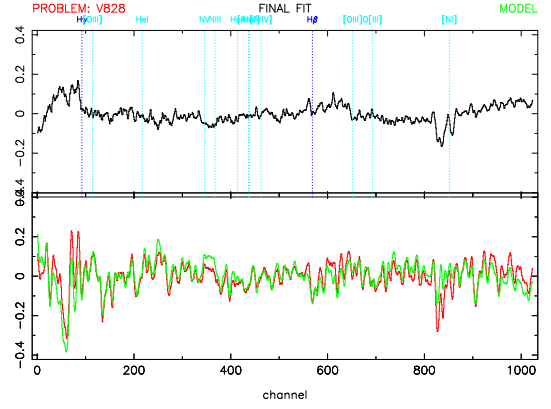
NG4415 (1)



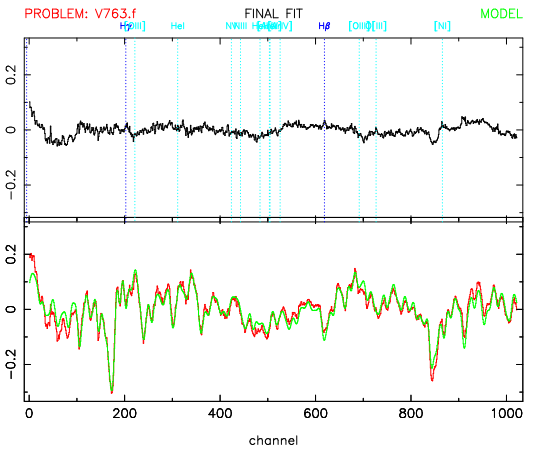
NGC4374 (5)



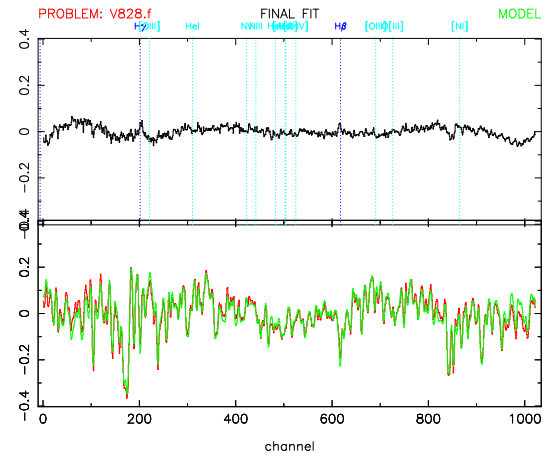
NGC4387 (5)



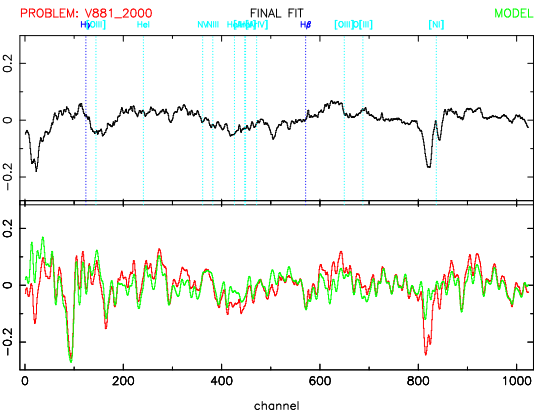
NGC4374 (6)



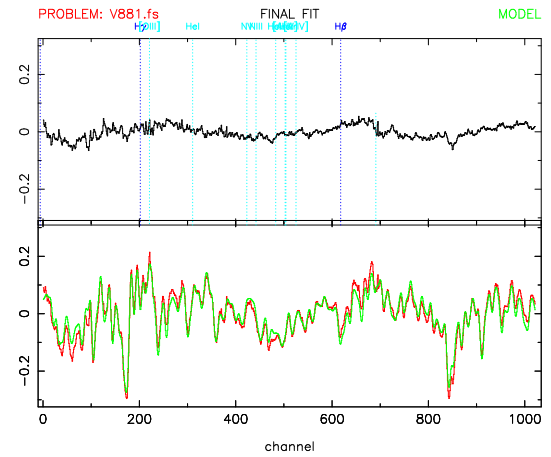
NGC4387 (6)



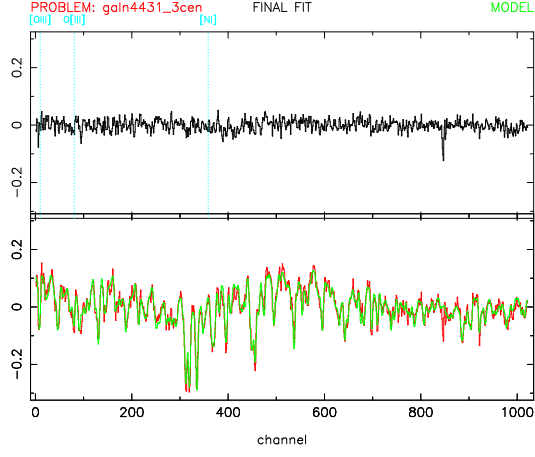
NGC4406 (5)



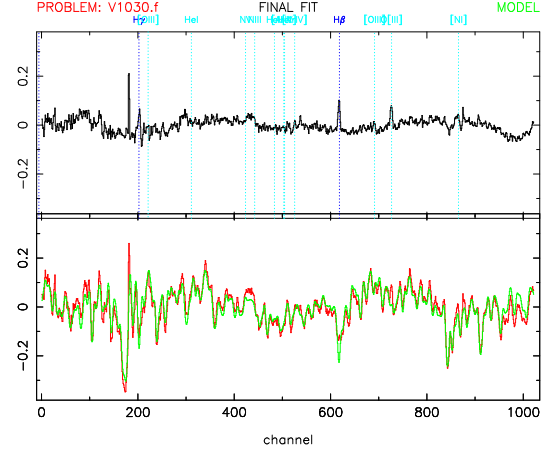
NGC4406 (6)



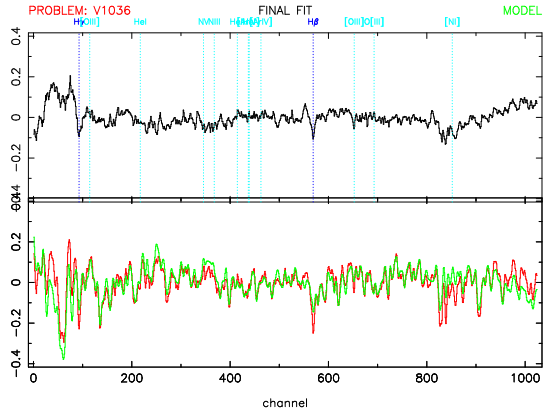
NGC4431 (1)



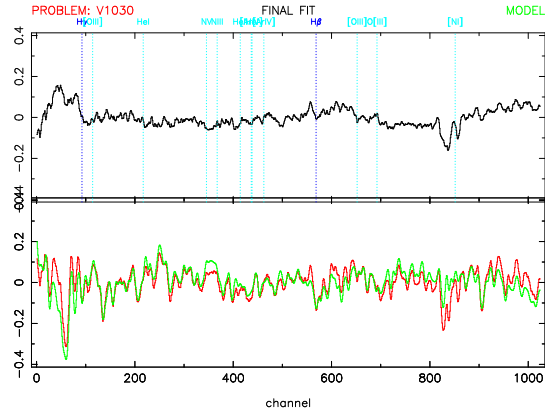
NGC4435 (6)



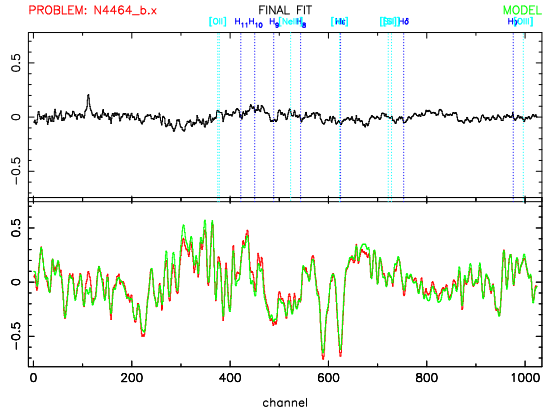
NGC4436 (5)



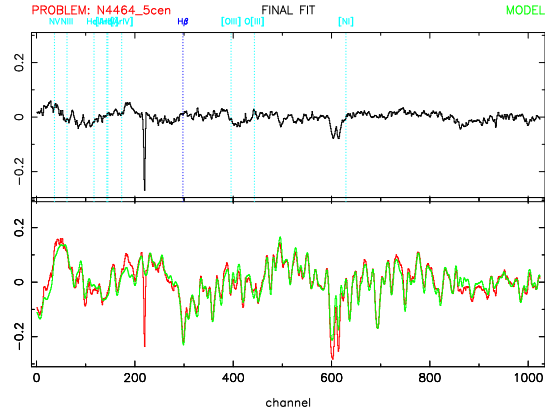
NGC4435 (5)



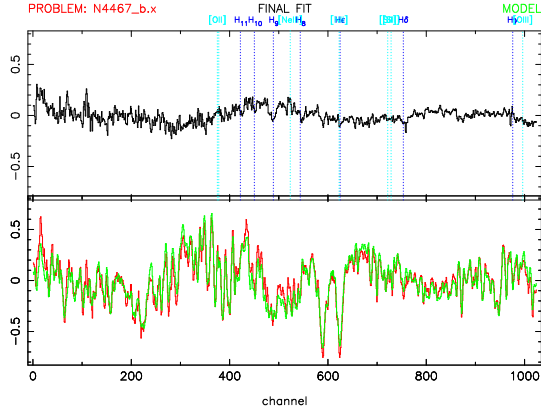
NGC4464 (4b)



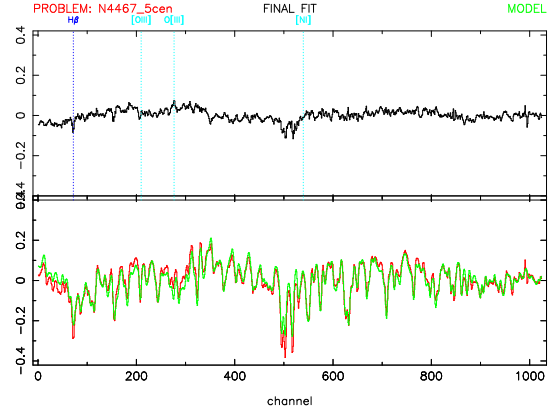
NGC4464 (4r)



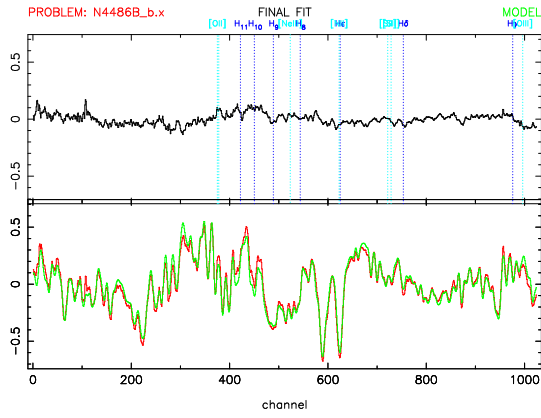
NGC4467 (4b)



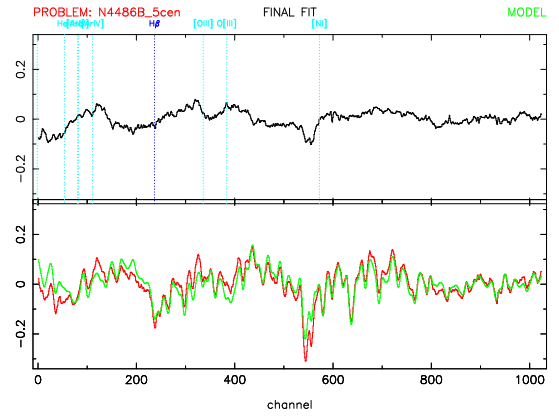
NGC4467 (4r)



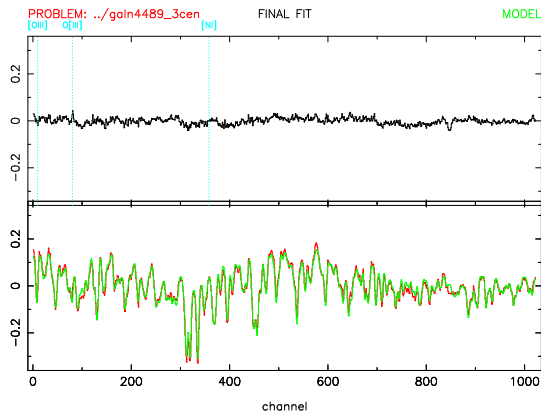
NGC4486B (4b)



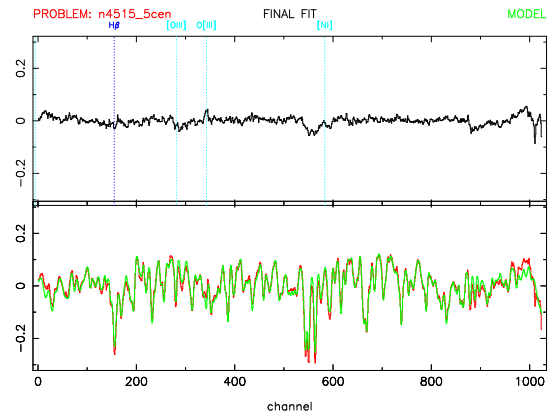
NGC4486B (4r)



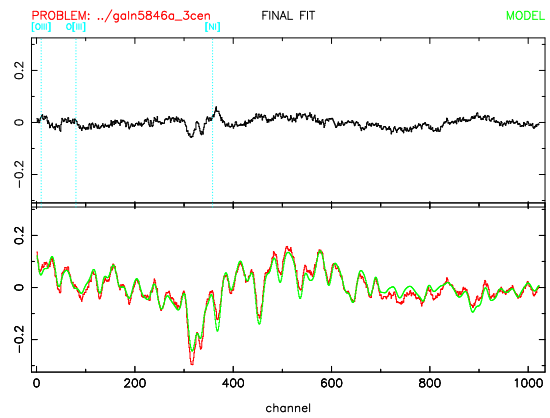
NGC4489 (1)



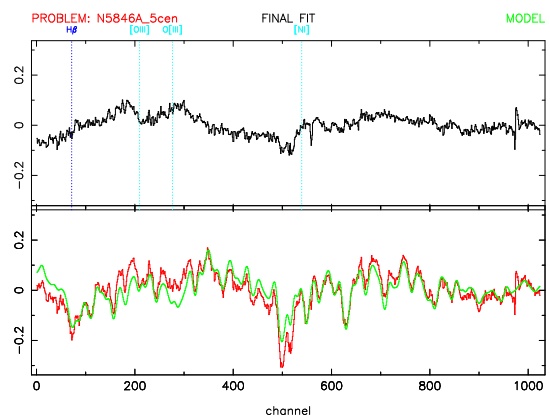
NGC4515 (3)



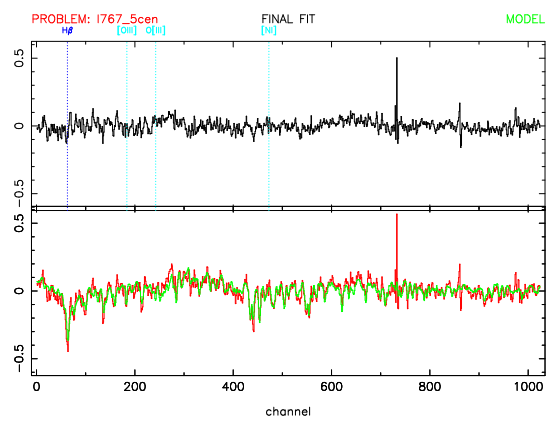
NGC5846A (1)



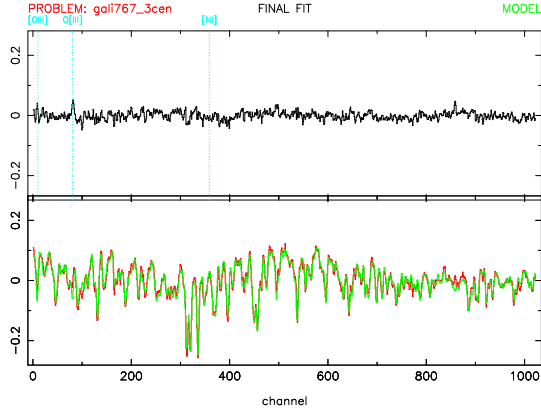
NGC5846A (4r)



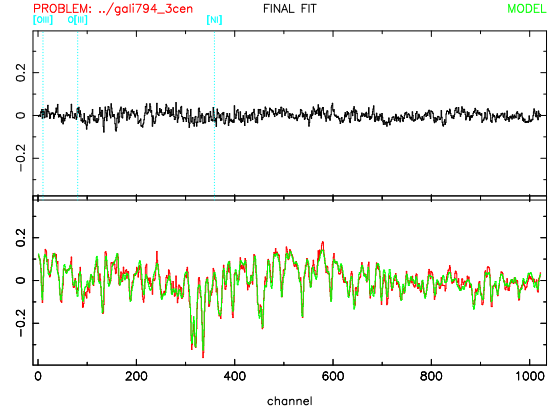
IC767 (4r)



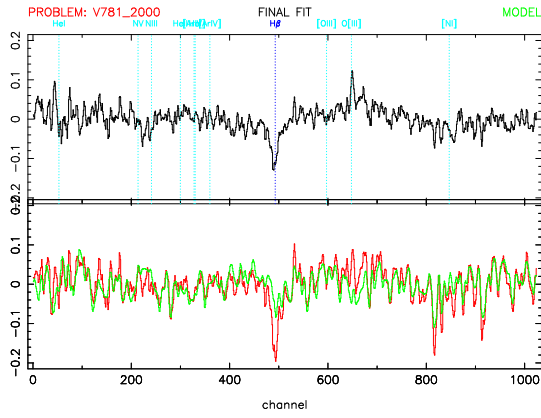
IC767 (1)



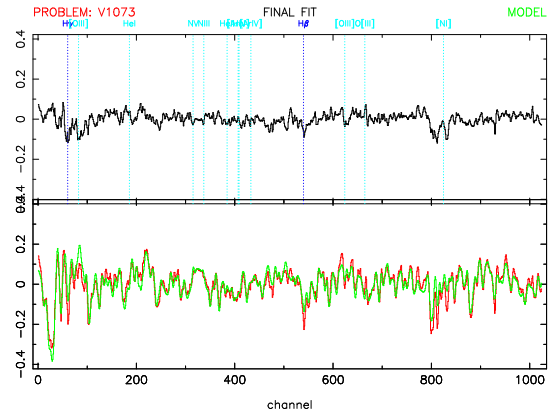
IC794 (1)



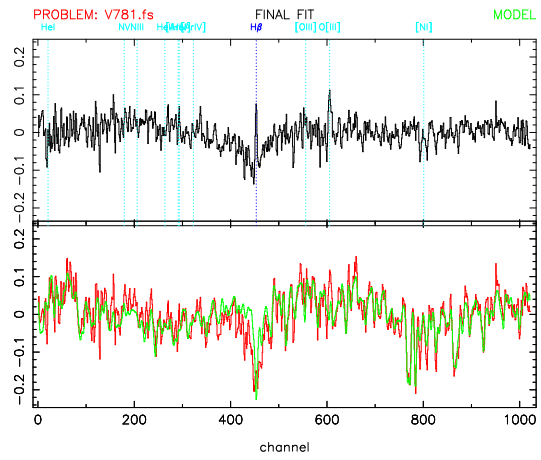
IC3303 (5)



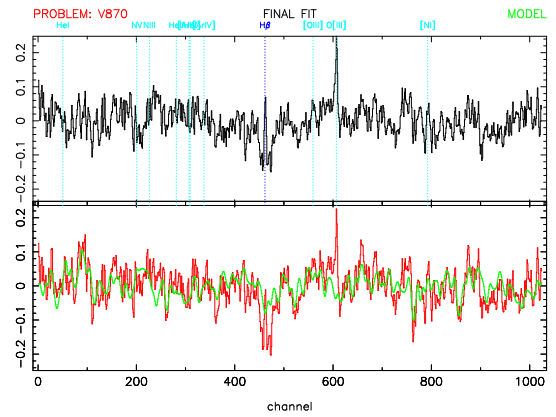
IC794 (5)



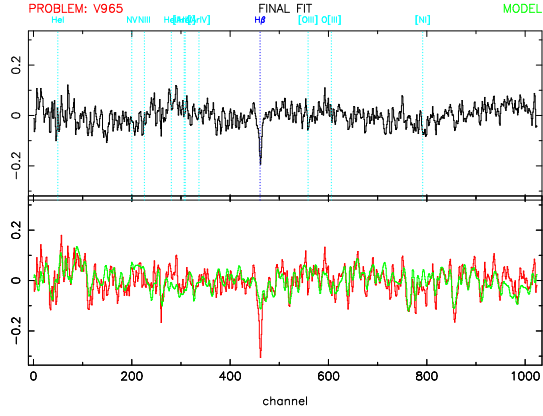
IC3303 (6)



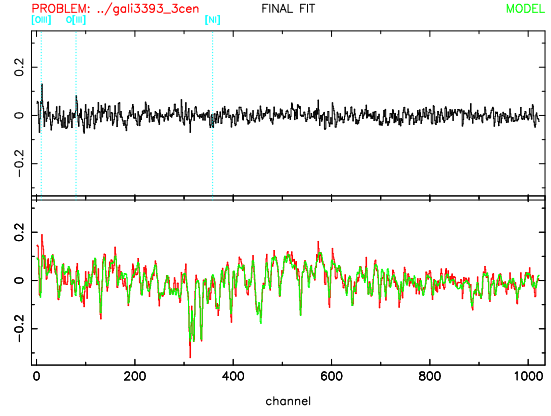
IC3331 (5)



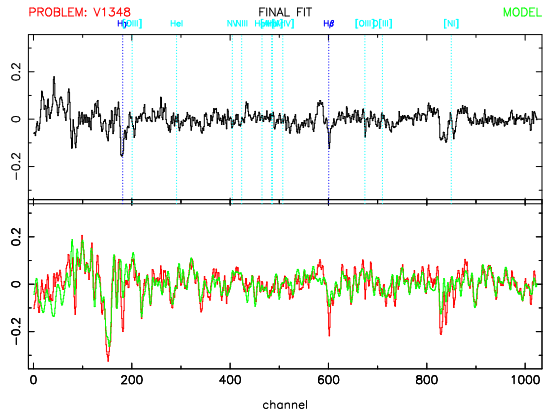
IC3363 (5)



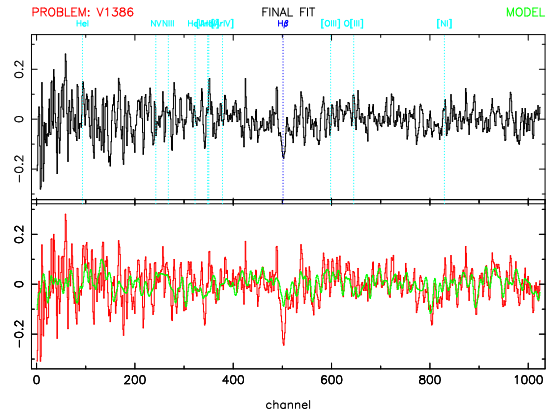
IC3393 (1)



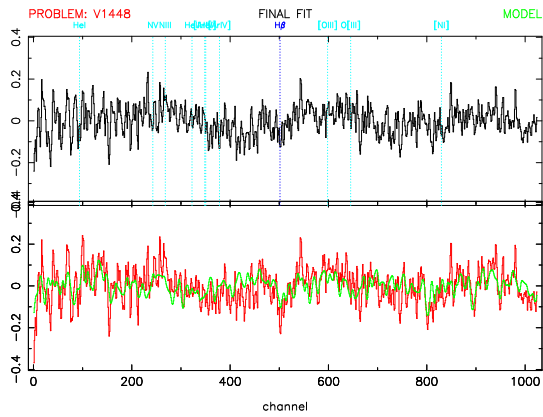
IC3443 (5)



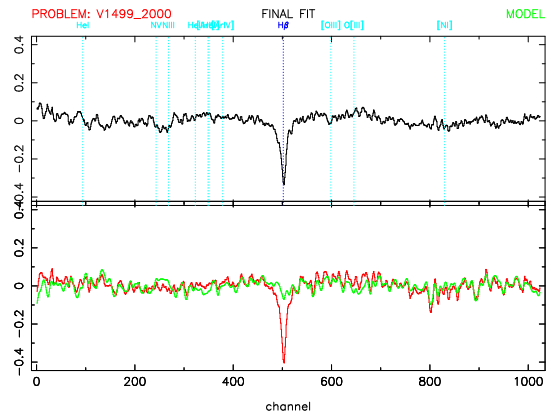
IC3457 (5)



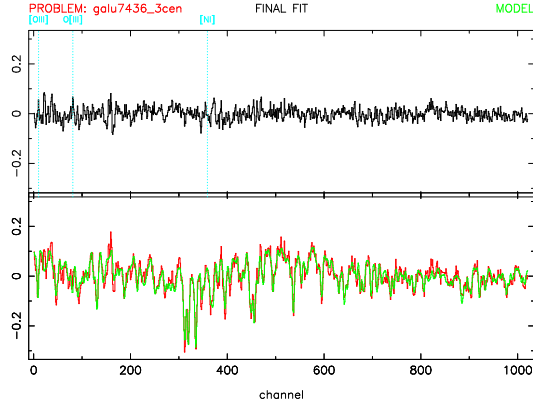
IC3475 (5)



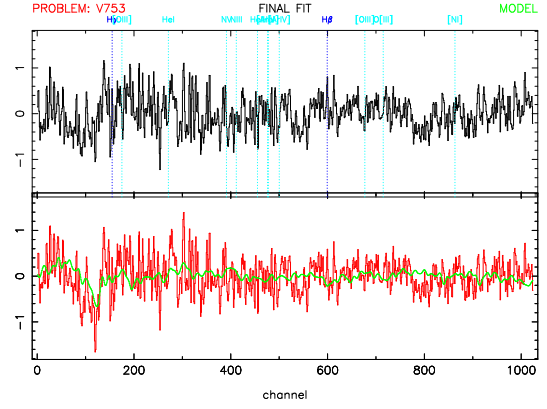
IC3492 (5)



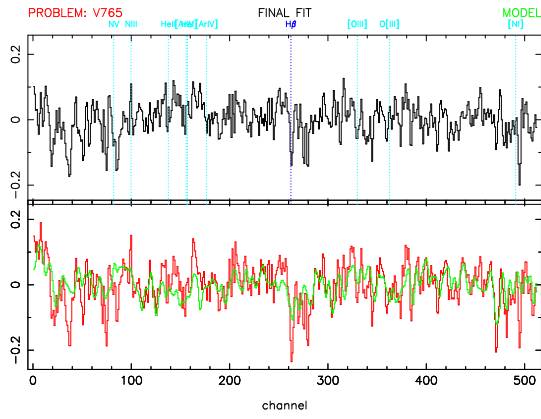
UGC7436 (1)



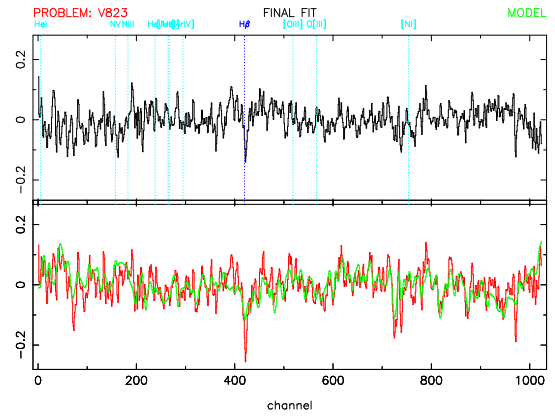
VCC753 (5)



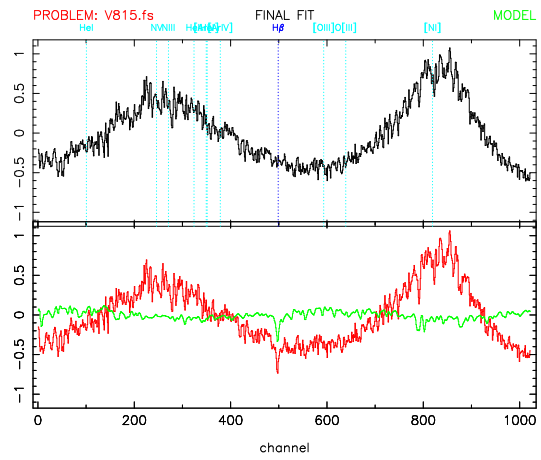
VCC765 (5)



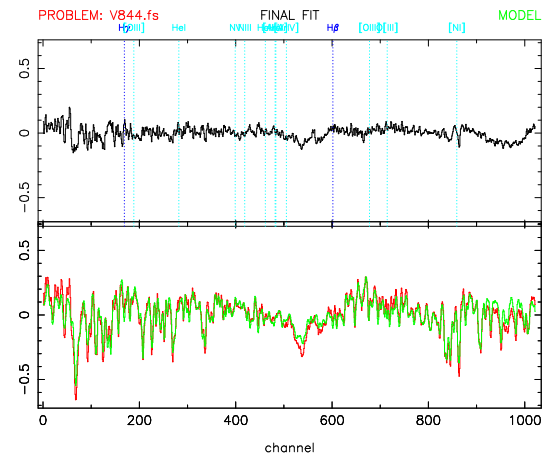
VCC823 (5)



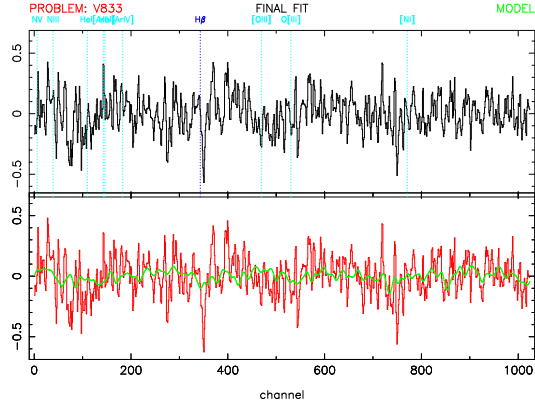
VCC815 (6)



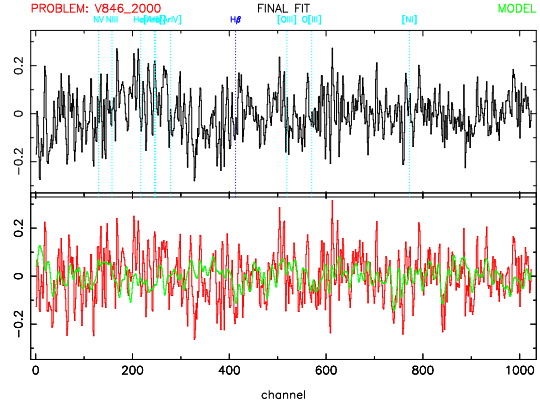
VCC844 (6)



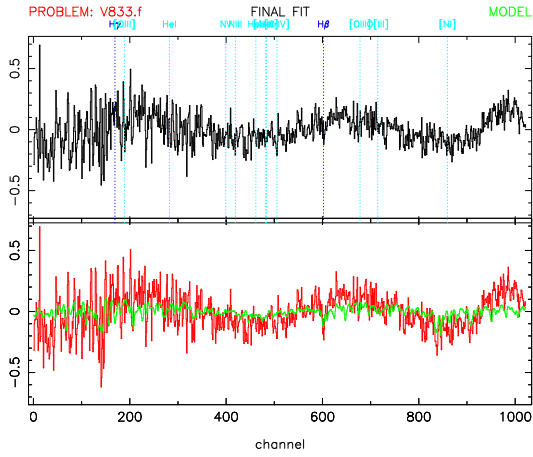
VCC833 (5)



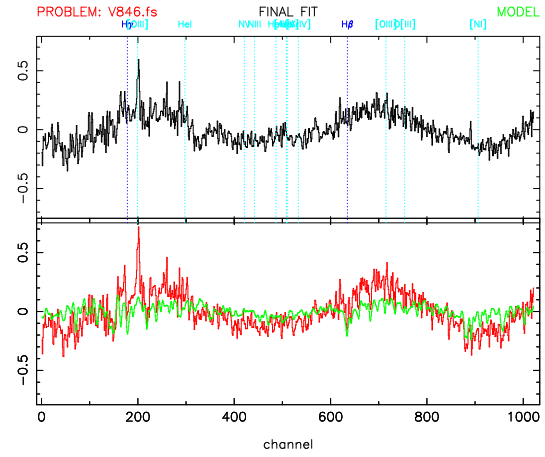
VCC846 (5)



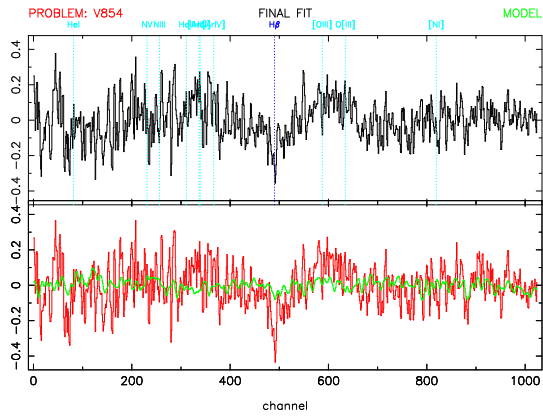
VCC833 (6)



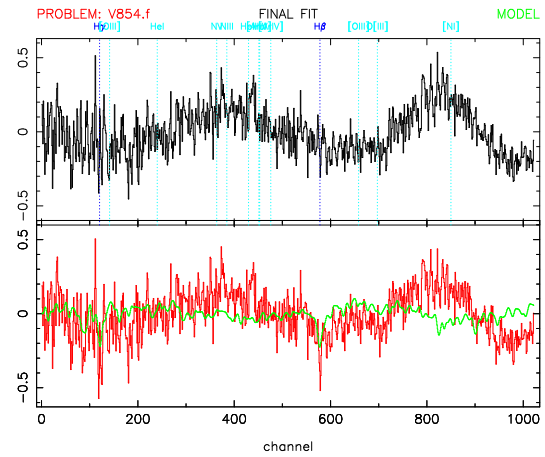
VCC846 (6)



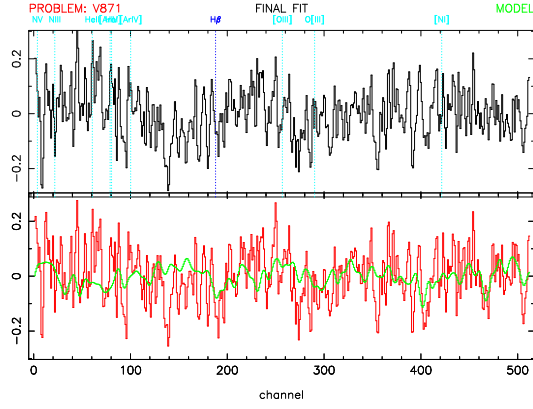
VCC854 (5)



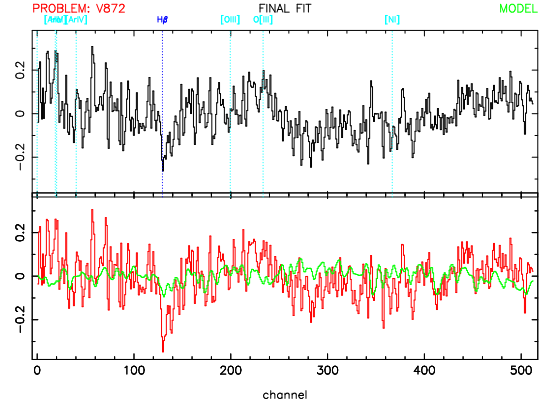
VCC854 (6)



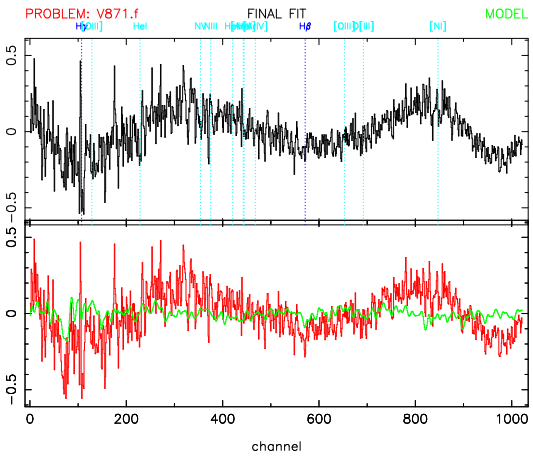
VCC871 (5)



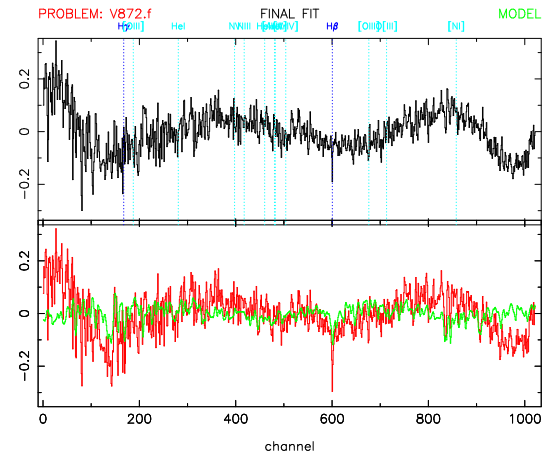
VCC872 (5)



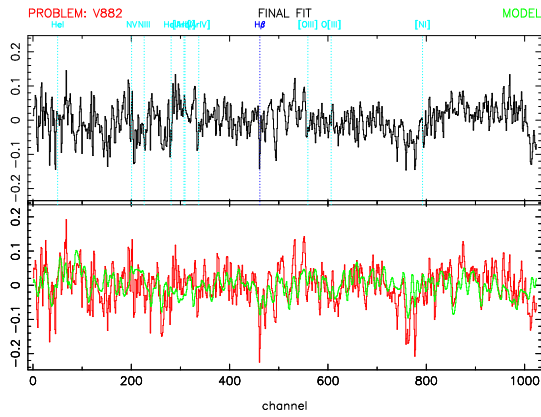
VCC871 (6)



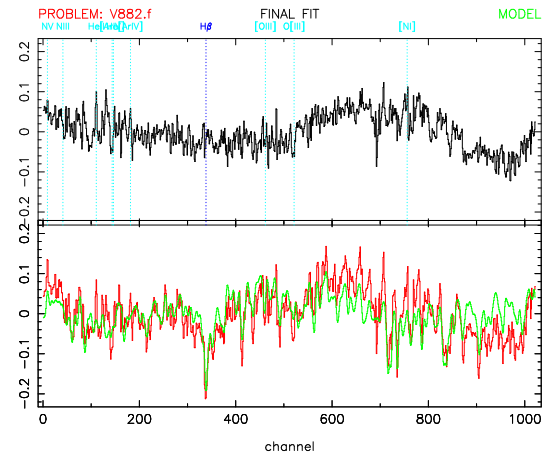
VCC872 (6)



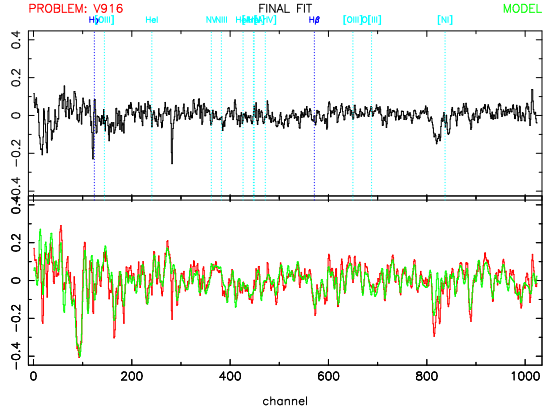
VCC882 (5)



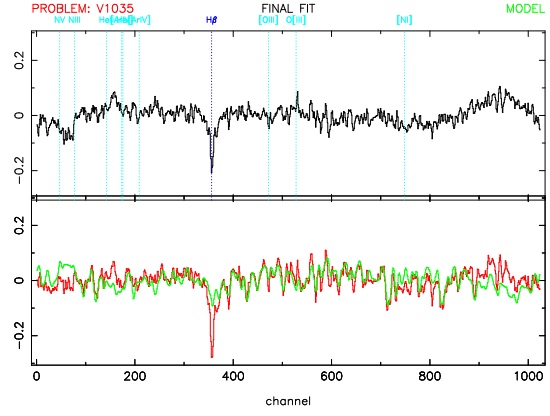
VCC882 (4r)



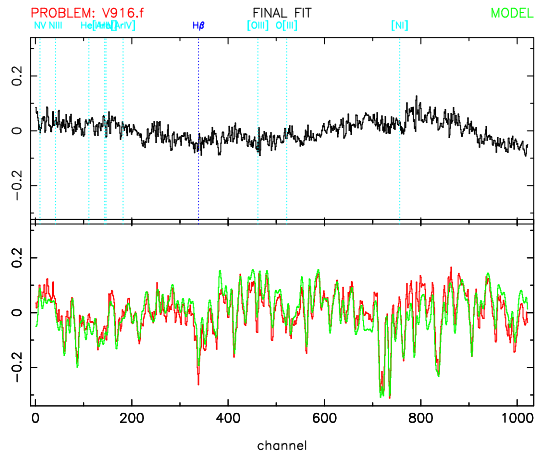
VCC916 (5)



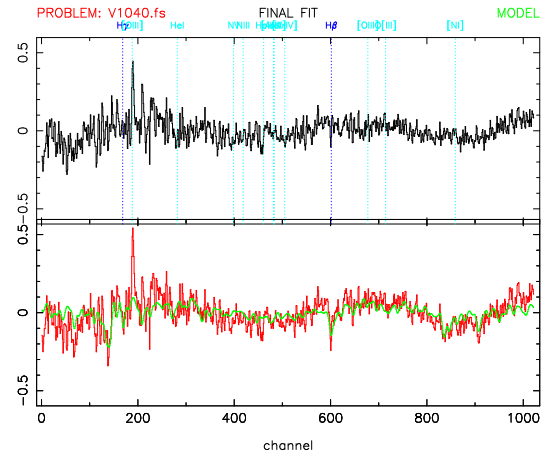
VCC1035 (5)



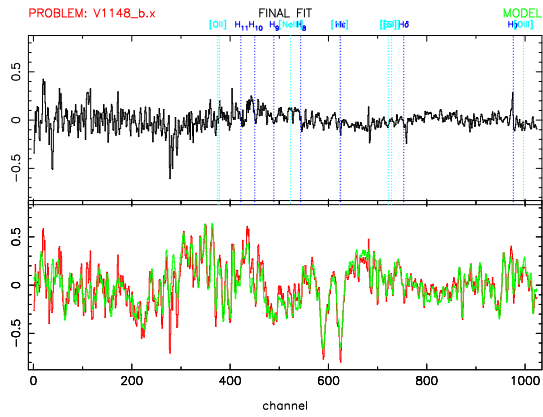
VCC916 (6)



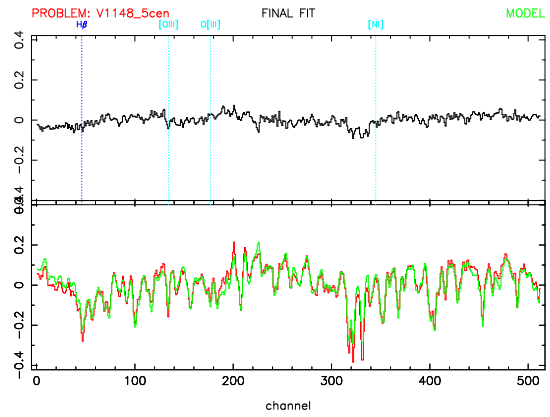
VCC1040 (6)



VCC1148 (4b)



VCC1148 (4r)

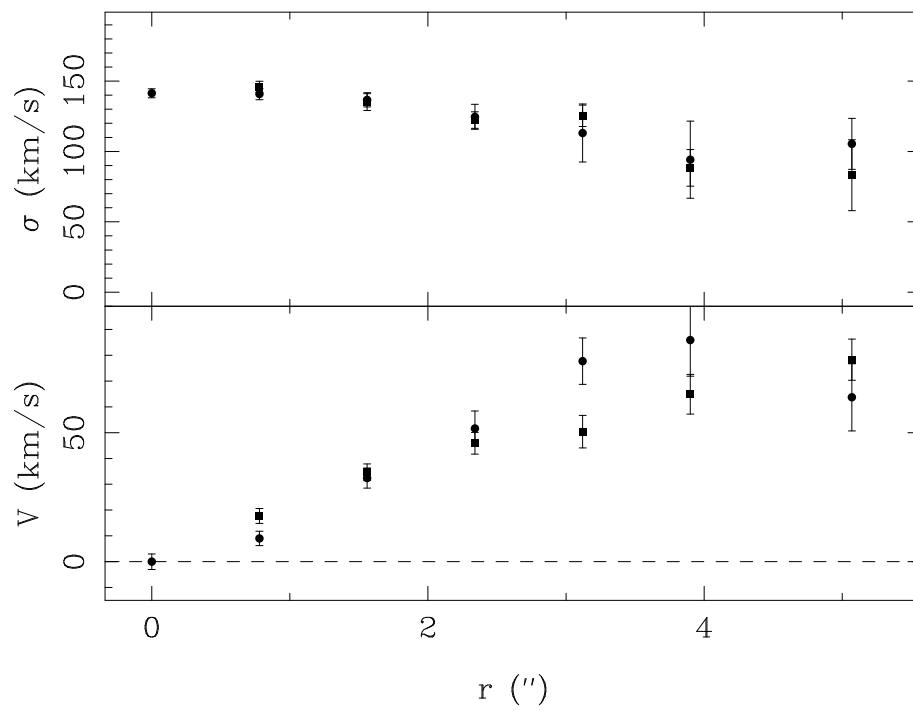


Apéndice B

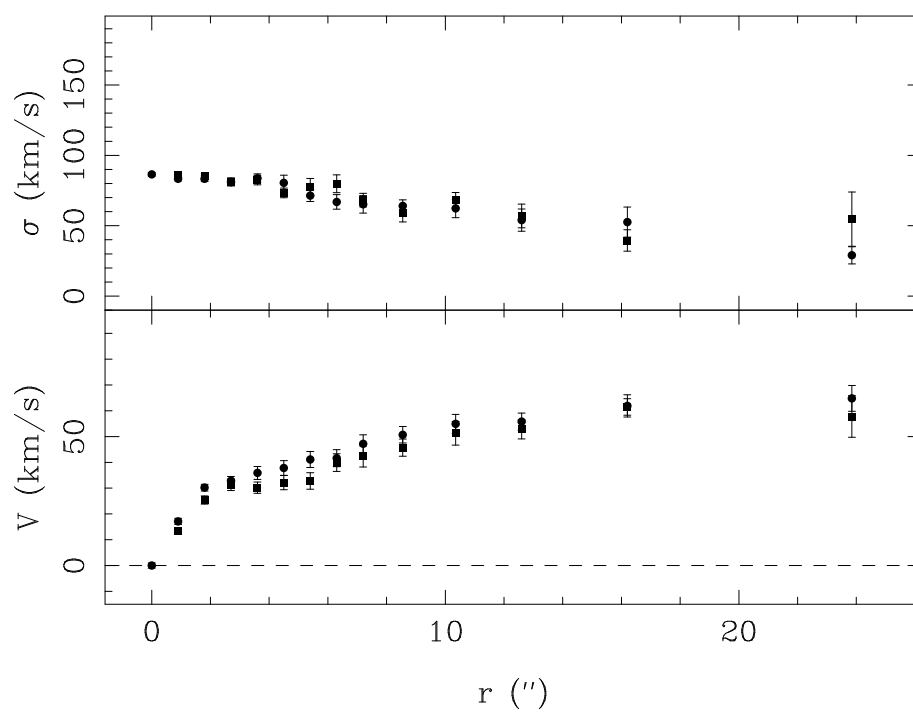
Gradientes de velocidad radial y dispersión de velocidades

Este apéndice contiene las velocidades radiales y dispersión de velocidades medidas a lo largo del radio para las 18 galaxias en las que se pudieron medir estos gradientes. Para cada galaxia se muestra una gráfica con la velocidad rotacional o diferencia entre la velocidad radial medida en un punto y la medida en el centro, frente a su distancia en segundos de arco. Los círculos y los cuadrados indican cada lado de la galaxia. De la misma forma, el panel superior de cada gráfica, muestra las dispersiones de velocidades medidas a las mismas distancias radiales. Los ángulos de posición a los que corresponden estos valores se encuentran en la tabla 3.3. Igualmente, para cada galaxia hay una tabla donde se dan los valores del parámetro de intensidad de las líneas (γ), la velocidad radial (v_o) y la dispersión de velocidades (σ_o), con sus respectivos errores, medidos a la distancia del centro que se indica en la primera columna. En la última columna se dan los valores obtenidos al ajustar a un polinomio de bajo orden, las dispersiones de velocidades medidas.

NGC 2694



NGC 3605



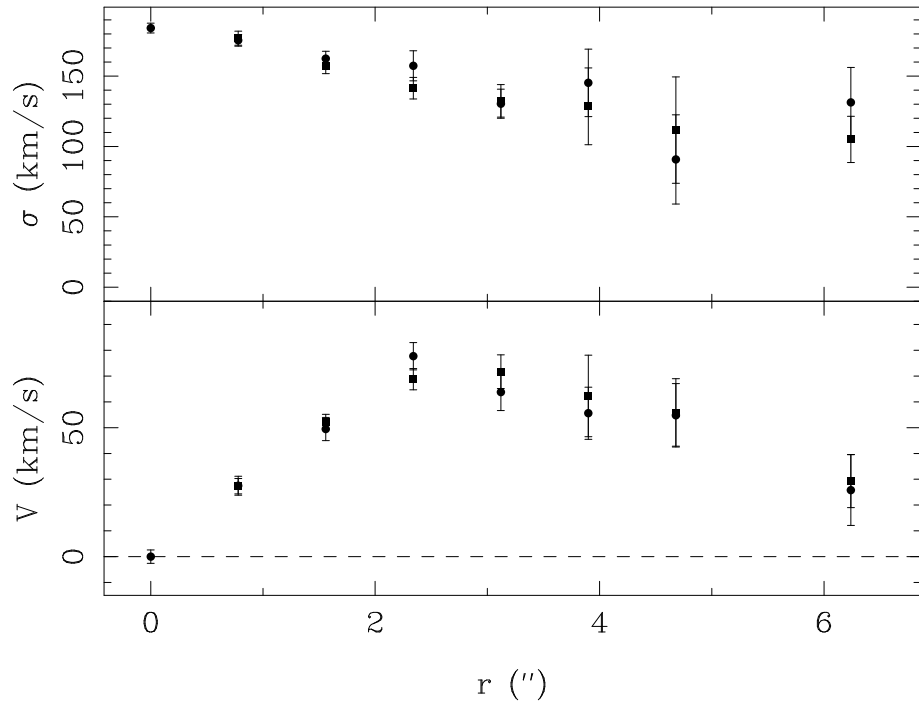
NGC 2694

$r(^{\prime\prime})$	γ	v_o		σ_o		ajuste
0.0	0.885 ± 0.014	5052.7	± 3.0	141.4	± 3.2	141.4
0.8	0.894 ± 0.015	5061.7	± 2.8	140.8	± 4.0	143.5
-0.8	0.920 ± 0.013	5035.0	± 2.9	146.0	± 3.9	143.5
1.6	0.875 ± 0.016	5085.1	± 3.9	136.7	± 5.1	135.5
-1.6	0.935 ± 0.023	5018.0	± 3.2	135.1	± 6.0	135.5
2.3	0.863 ± 0.027	5104.3	± 6.8	124.6	± 8.9	125.5
-2.3	0.871 ± 0.022	5006.8	± 4.2	122.3	± 5.9	125.5
3.1	0.778 ± 0.044	5130.4	± 9.0	113.1	± 20.6	115.4
-3.1	0.840 ± 0.019	5002.3	± 6.3	125.3	± 7.6	115.4
3.9	0.731 ± 0.055	5138.6	± 14.0	94.2	± 27.4	105.7
-3.9	0.736 ± 0.032	4987.8	± 7.7	88.3	± 13.0	105.7
5.1	0.772 ± 0.051	5116.4	± 13.0	105.4	± 18.1	91.9
-5.1	0.746 ± 0.045	4974.4	± 8.0	83.1	± 25.2	91.9

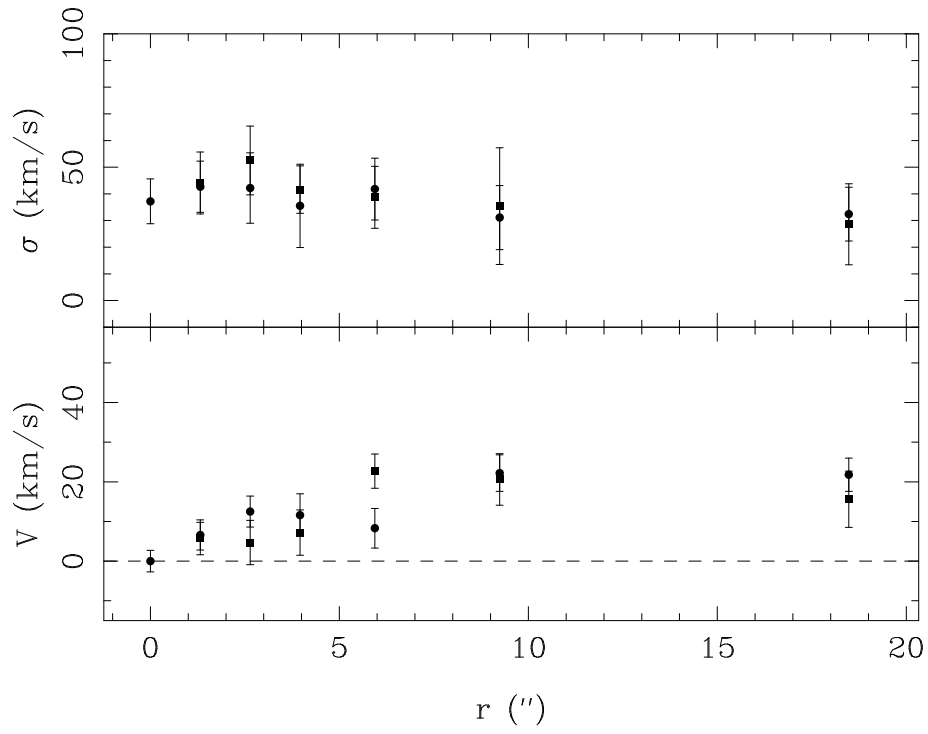
NGC 3605

$r(^{\prime\prime})$	γ	v_o		σ_o		ajuste
0.0	1.026 ± 0.010	616.1	± 1.0	86.5	± 1.3	86.5
0.9	1.005 ± 0.009	599.0	± 1.2	83.3	± 1.4	84.7
-0.9	0.999 ± 0.008	629.4	± 1.1	85.9	± 1.5	84.7
1.8	0.980 ± 0.011	585.9	± 1.3	83.4	± 2.0	83.8
-1.8	0.969 ± 0.009	641.5	± 1.6	85.0	± 2.0	83.8
2.7	0.942 ± 0.017	583.2	± 1.6	81.0	± 2.2	81.9
-2.7	0.920 ± 0.016	647.4	± 2.2	81.1	± 2.9	81.9
3.6	0.906 ± 0.018	580.2	± 2.5	83.7	± 3.1	79.6
-3.6	0.900 ± 0.019	646.3	± 2.2	82.4	± 3.4	79.6
4.5	0.898 ± 0.026	578.3	± 2.9	80.4	± 5.5	77.0
-4.5	0.889 ± 0.020	648.3	± 2.8	73.3	± 3.4	77.0
5.4	0.861 ± 0.025	575.0	± 3.1	71.4	± 4.2	74.4
-5.4	0.914 ± 0.028	648.9	± 3.2	77.5	± 6.1	74.4
6.3	0.862 ± 0.024	574.5	± 3.3	66.9	± 5.2	71.8
-6.3	0.939 ± 0.027	656.0	± 3.4	79.8	± 6.3	71.8
7.2	0.901 ± 0.035	568.9	± 3.5	65.2	± 6.2	69.3
-7.2	0.882 ± 0.026	658.4	± 4.1	68.2	± 4.8	69.3
8.6	0.887 ± 0.023	565.4	± 3.2	64.1	± 4.3	65.5
-8.6	0.858 ± 0.026	661.8	± 3.3	58.7	± 6.0	65.5
10.3	0.864 ± 0.034	561.2	± 3.7	62.3	± 6.6	60.7
-10.3	0.887 ± 0.028	667.4	± 4.6	68.0	± 5.6	60.7
12.6	0.874 ± 0.032	560.3	± 3.3	54.0	± 7.9	54.9
-12.6	0.865 ± 0.032	668.9	± 3.7	56.9	± 8.4	54.9
16.2	0.893 ± 0.039	554.2	± 4.3	52.6	± 10.7	46.2
-16.2	0.831 ± 0.031	677.6	± 3.2	39.5	± 7.6	46.2
23.8	0.878 ± 0.035	551.3	± 5.0	29.0	± 6.1	29.9
-23.8	0.880 ± 0.068	673.9	± 8.1	54.7	± 19.3	29.9

NGC 3641



NGC 4415



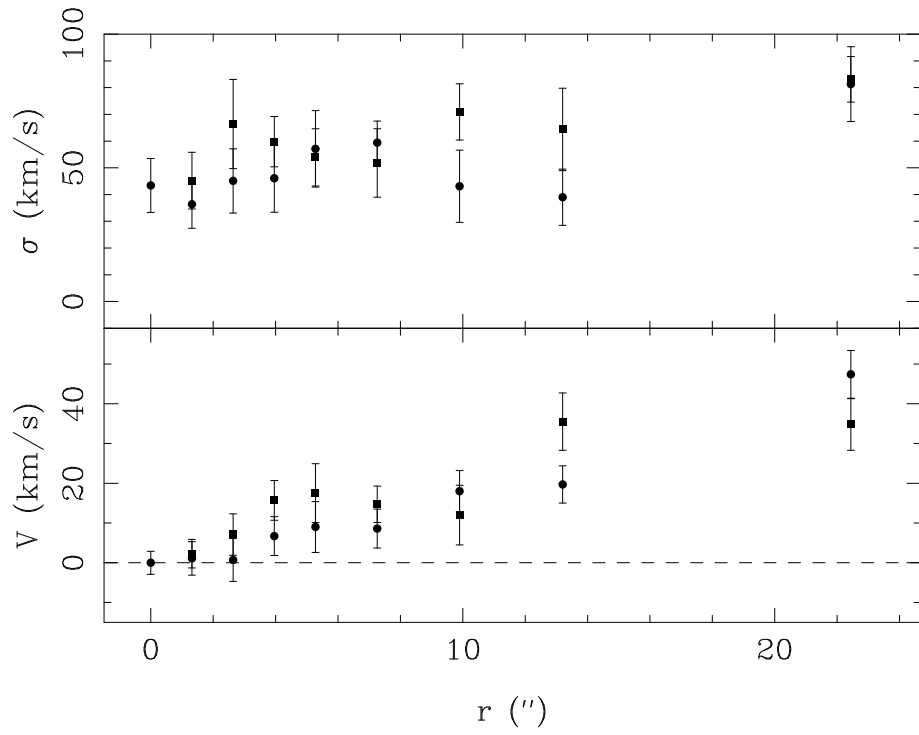
NGC 3641

$r(^{\circ})$	γ	v_o	σ_o	ajuste
0.0	0.897 ± 0.011	1755.2 ± 2.6	184.1 ± 3.5	184.2
0.8	0.871 ± 0.012	1727.7 ± 3.7	175.4 ± 4.1	175.7
-0.8	0.872 ± 0.011	1782.5 ± 3.0	176.9 ± 5.0	175.7
1.6	0.809 ± 0.016	1705.7 ± 4.5	162.4 ± 5.2	159.8
-1.6	0.839 ± 0.016	1807.4 ± 3.0	157.3 ± 5.5	159.8
2.3	0.820 ± 0.020	1677.5 ± 5.3	157.3 ± 10.7	146.9
-2.3	0.801 ± 0.020	1824.0 ± 4.1	141.4 ± 7.7	146.9
3.1	0.773 ± 0.026	1691.4 ± 7.2	130.4 ± 10.3	136.1
-3.1	0.777 ± 0.028	1826.9 ± 6.5	132.4 ± 11.6	136.1
3.9	0.778 ± 0.046	1699.6 ± 10.1	145.2 ± 24.0	126.9
-3.9	0.741 ± 0.057	1817.5 ± 15.8	128.5 ± 27.3	126.9
4.7	0.686 ± 0.064	1700.4 ± 12.3	90.8 ± 31.7	118.7
-4.7	0.728 ± 0.067	1811.1 ± 13.1	111.6 ± 37.8	118.7
6.2	0.653 ± 0.050	1729.4 ± 13.7	131.3 ± 24.9	104.7
-6.2	0.640 ± 0.044	1784.5 ± 10.3	105.0 ± 16.4	104.7

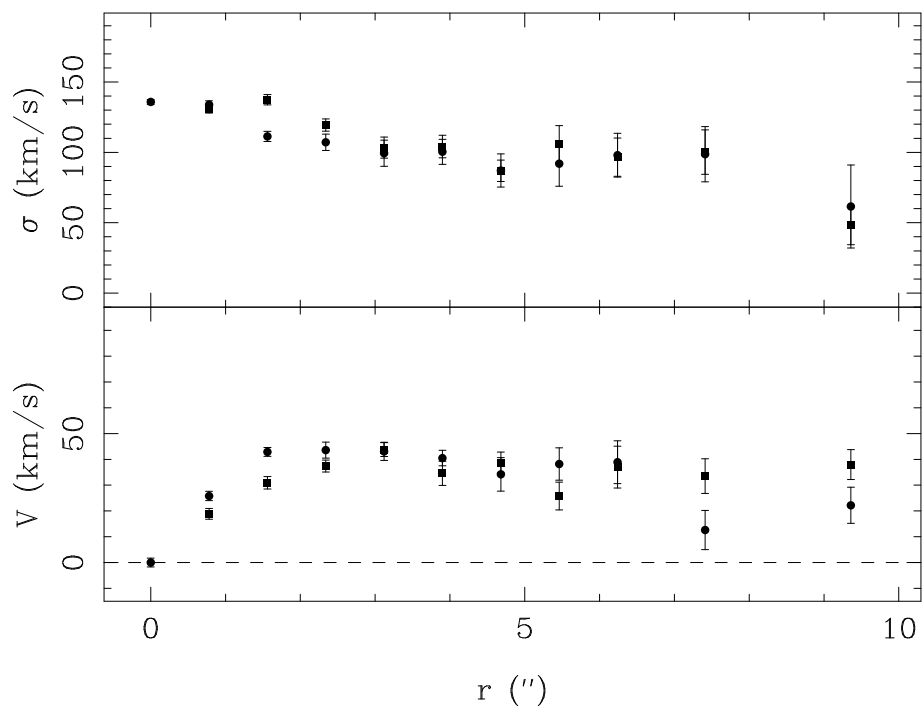
NGC 4415

$r(^{\circ})$	γ	v_o	σ_o	ajuste
0.0	0.816 ± 0.027	926.7 ± 2.7	37.2 ± 8.4	37.5
1.3	0.798 ± 0.029	920.1 ± 3.8	42.7 ± 9.6	43.6
-1.3	0.793 ± 0.035	932.4 ± 4.1	44.1 ± 11.6	43.6
2.6	0.788 ± 0.037	914.2 ± 3.9	42.2 ± 13.2	43.2
-2.6	0.763 ± 0.033	931.4 ± 5.6	52.5 ± 12.9	43.2
4.0	0.751 ± 0.039	915.1 ± 5.4	35.5 ± 15.6	41.9
-4.0	0.737 ± 0.034	933.9 ± 5.7	41.6 ± 8.9	41.9
5.9	0.735 ± 0.034	918.4 ± 5.0	41.8 ± 11.6	39.8
-5.9	0.729 ± 0.030	949.4 ± 4.3	38.7 ± 11.6	39.8
9.2	0.693 ± 0.026	904.5 ± 4.6	31.1 ± 12.0	36.6
-9.2	0.640 ± 0.039	947.3 ± 6.5	35.4 ± 21.9	36.6
18.5	0.642 ± 0.025	904.9 ± 4.2	32.4 ± 10.1	29.7
-18.5	0.597 ± 0.030	942.3 ± 7.1	28.6 ± 15.2	29.7

NGC 4431



NGC 4464

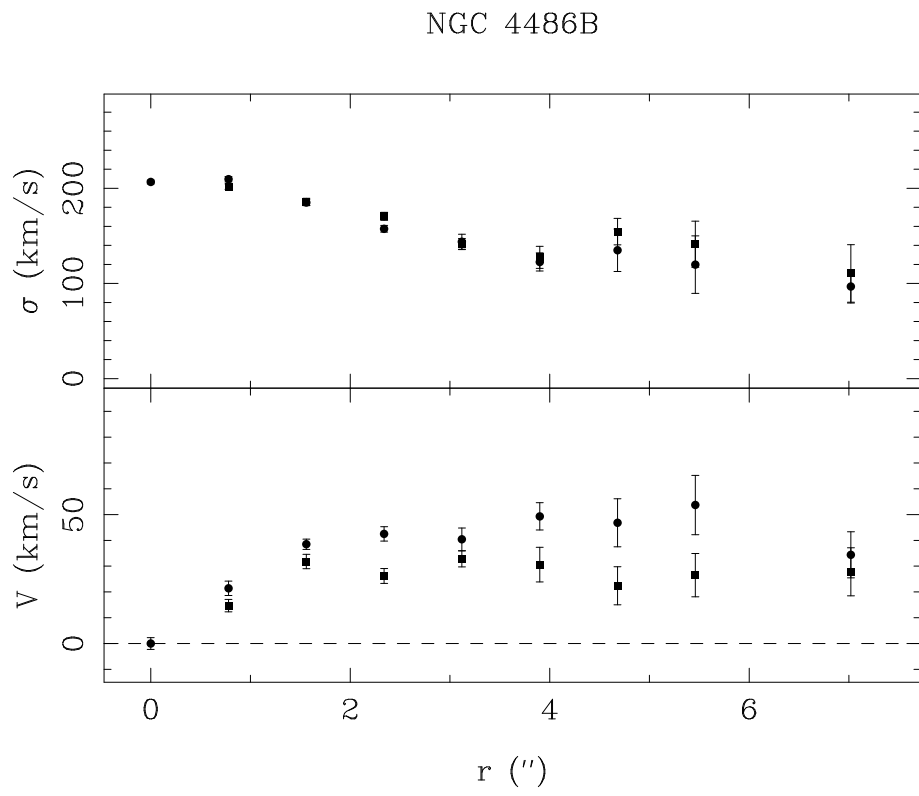
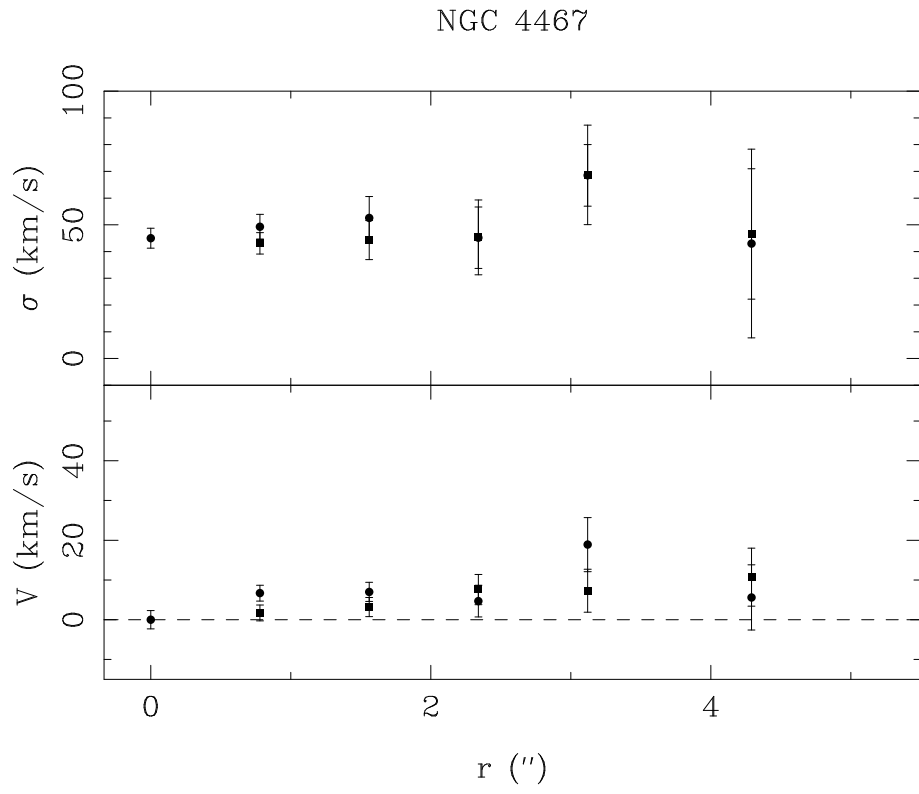


NGC 4431

$r(^{\circ})$	γ	v_o	σ_o	ajuste
0.0	0.769 ± 0.027	943.7 ± 2.9	43.4 ± 10.1	43.5
1.3	0.763 ± 0.029	944.8 ± 4.2	36.4 ± 9.0	43.0
-1.3	0.774 ± 0.026	941.4 ± 3.6	45.2 ± 10.6	43.0
2.6	0.752 ± 0.038	944.4 ± 5.4	45.1 ± 12.0	46.7
-2.6	0.803 ± 0.043	936.6 ± 5.2	66.4 ± 16.7	46.7
4.0	0.772 ± 0.042	950.4 ± 4.9	46.1 ± 12.7	50.1
-4.0	0.791 ± 0.029	928.0 ± 5.0	59.8 ± 9.4	50.1
5.3	0.753 ± 0.041	952.7 ± 6.4	57.1 ± 14.3	53.1
-5.3	0.777 ± 0.037	926.2 ± 7.4	53.9 ± 10.7	53.1
7.3	0.792 ± 0.028	952.3 ± 4.9	59.4 ± 8.1	56.9
-7.3	0.769 ± 0.037	929.0 ± 4.6	51.8 ± 12.8	56.9
9.9	0.719 ± 0.040	961.7 ± 5.2	43.1 ± 13.5	61.2
-9.9	0.740 ± 0.040	931.7 ± 7.5	70.9 ± 10.5	61.2
13.2	0.724 ± 0.034	963.4 ± 4.7	39.0 ± 10.5	65.6
-13.2	0.761 ± 0.042	908.2 ± 7.2	64.4 ± 15.4	65.6
22.4	0.744 ± 0.037	991.1 ± 6.0	81.3 ± 14.0	75.0
-22.4	0.708 ± 0.034	908.9 ± 6.5	83.1 ± 8.5	75.0

NGC 4464

$r(^{\circ})$	γ	v_o	σ_o	ajuste
0.0	0.981 ± 0.009	1248.0 ± 1.7	135.8 ± 1.8	135.7
0.8	1.001 ± 0.009	1222.2 ± 1.8	133.9 ± 2.7	132.6
-0.8	0.988 ± 0.009	1266.9 ± 2.1	130.5 ± 2.6	132.6
1.6	0.953 ± 0.015	1205.1 ± 1.7	111.3 ± 3.6	122.7
-1.6	1.013 ± 0.014	1278.9 ± 2.4	137.4 ± 3.7	122.7
2.3	0.916 ± 0.018	1204.4 ± 3.1	107.2 ± 5.8	114.3
-2.3	1.014 ± 0.016	1285.4 ± 2.3	119.4 ± 4.4	114.3
3.1	0.954 ± 0.028	1204.9 ± 3.5	99.4 ± 9.3	107.2
-3.1	0.973 ± 0.021	1291.8 ± 2.7	103.4 ± 7.5	107.2
3.9	0.957 ± 0.029	1207.5 ± 3.0	100.4 ± 8.9	101.0
-3.9	0.948 ± 0.024	1282.6 ± 4.7	104.1 ± 8.0	101.0
4.7	0.890 ± 0.032	1213.8 ± 6.5	87.1 ± 11.8	95.5
-4.7	0.894 ± 0.025	1286.8 ± 4.0	86.9 ± 7.6	95.5
5.5	0.874 ± 0.042	1209.8 ± 6.3	91.9 ± 16.0	90.6
-5.5	0.961 ± 0.039	1273.8 ± 5.4	106.0 ± 13.0	90.6
6.2	0.874 ± 0.049	1209.1 ± 8.3	98.0 ± 15.6	86.1
-6.2	0.921 ± 0.049	1285.0 ± 8.1	96.6 ± 13.6	86.1
7.4	0.945 ± 0.063	1235.4 ± 7.6	98.7 ± 19.6	80.0
-7.4	0.986 ± 0.042	1281.5 ± 6.7	100.2 ± 15.8	80.0
9.4	0.821 ± 0.051	1225.8 ± 7.0	61.5 ± 29.5	71.1
-9.4	0.837 ± 0.033	1286.0 ± 5.8	48.2 ± 13.8	71.1



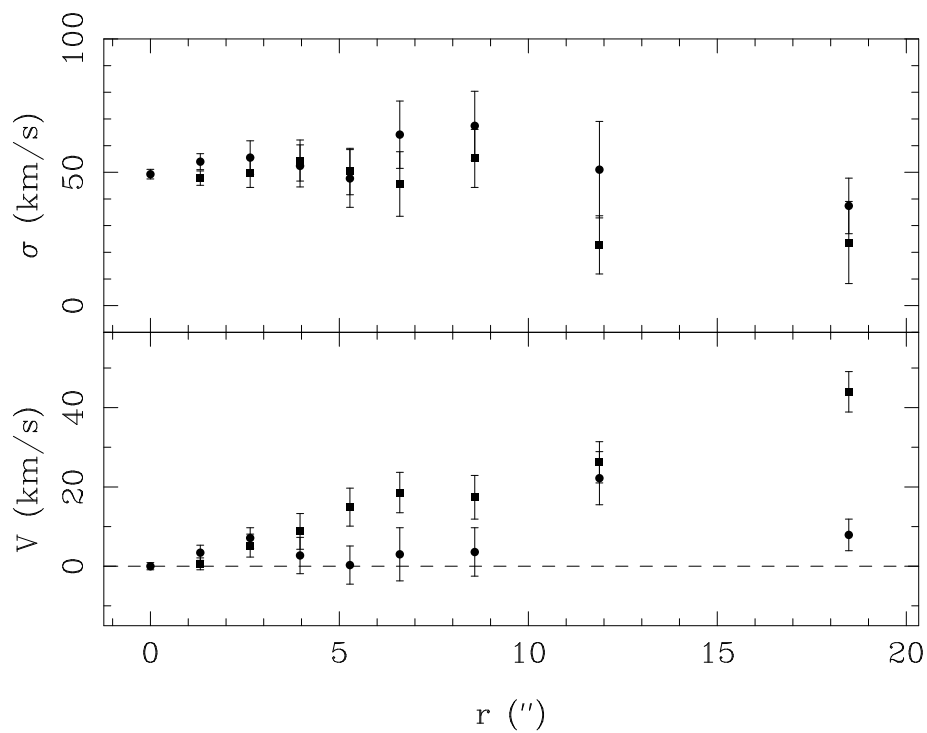
NGC 4467

$r(^{\circ})$	γ	v_o	σ_o	ajuste
0.0	0.849 ± 0.012	1383.1 ± 2.3	45.0 ± 3.7	45.0
0.8	0.872 ± 0.013	1389.8 ± 2.0	49.3 ± 4.6	45.9
-0.8	0.863 ± 0.014	1381.4 ± 2.0	43.1 ± 4.0	45.9
1.6	0.895 ± 0.020	1390.1 ± 2.4	52.6 ± 8.0	46.4
-1.6	0.877 ± 0.019	1379.9 ± 2.4	44.3 ± 7.3	46.4
2.3	0.853 ± 0.030	1387.8 ± 4.0	45.2 ± 11.5	55.0
-2.3	0.859 ± 0.026	1375.5 ± 3.8	45.3 ± 14.0	55.0
3.1	0.939 ± 0.036	1402.0 ± 6.8	68.5 ± 11.5	59.2
-3.1	0.883 ± 0.042	1375.8 ± 5.4	68.7 ± 18.6	59.2
4.3	0.730 ± 0.045	1388.7 ± 8.2	43.0 ± 35.3	54.8
-4.3	0.801 ± 0.056	1372.4 ± 7.3	46.6 ± 24.4	54.8

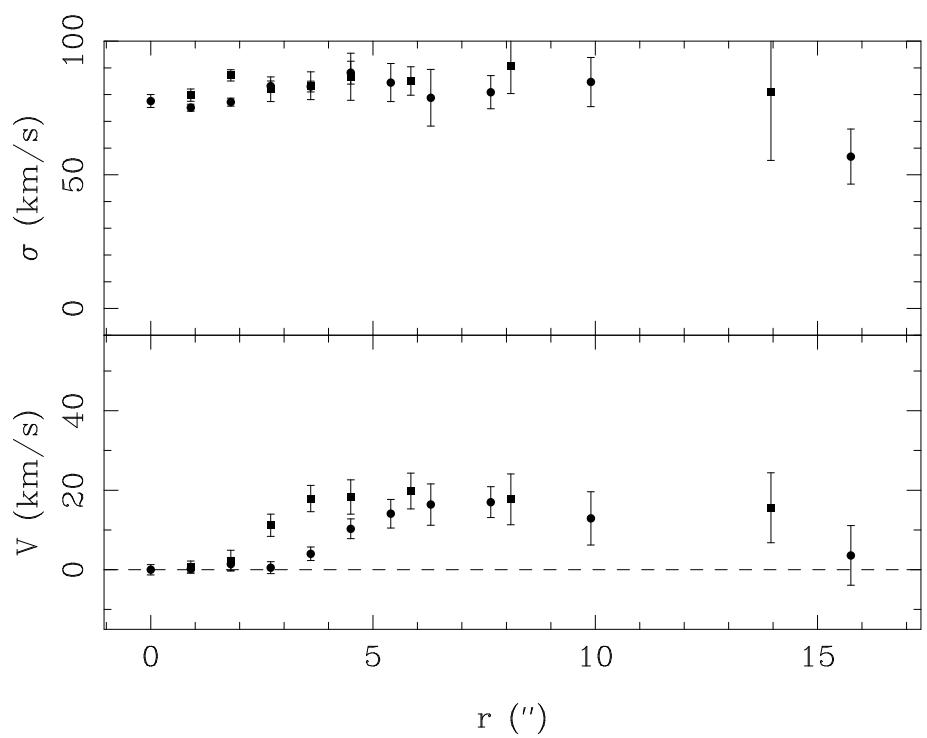
NGC 4486B

$r(^{\circ})$	γ	v_o	σ_o	ajuste
0.0	0.923 ± 0.006	1535.6 ± 2.3	206.6 ± 2.0	206.6
0.8	0.923 ± 0.008	1557.0 ± 2.8	209.5 ± 2.8	205.7
-0.8	0.918 ± 0.009	1520.9 ± 2.4	201.7 ± 2.8	205.7
1.6	0.889 ± 0.011	1574.1 ± 2.0	185.0 ± 2.9	184.8
-1.6	0.917 ± 0.011	1503.8 ± 2.8	185.6 ± 3.8	184.8
2.3	0.844 ± 0.014	1578.1 ± 2.8	157.4 ± 3.5	162.6
-2.3	0.868 ± 0.012	1509.4 ± 2.9	170.5 ± 4.2	162.6
3.1	0.829 ± 0.021	1576.0 ± 4.4	143.8 ± 7.9	144.9
-3.1	0.807 ± 0.020	1502.8 ± 3.1	141.4 ± 5.9	144.9
3.9	0.797 ± 0.029	1584.9 ± 5.3	122.6 ± 9.5	131.8
-3.9	0.789 ± 0.027	1505.0 ± 6.7	127.4 ± 11.6	131.8
4.7	0.809 ± 0.048	1582.4 ± 9.3	134.9 ± 22.3	122.7
-4.7	0.853 ± 0.039	1513.2 ± 7.4	154.5 ± 13.9	122.7
5.5	0.773 ± 0.061	1589.3 ± 11.5	119.8 ± 30.2	116.9
-5.5	0.866 ± 0.049	1509.1 ± 8.4	141.3 ± 24.2	116.9
7.0	0.736 ± 0.045	1570.0 ± 8.9	96.7 ± 17.2	112.7
-7.0	0.789 ± 0.054	1507.8 ± 9.3	110.5 ± 30.2	112.7

NGC 4489



NGC 4515



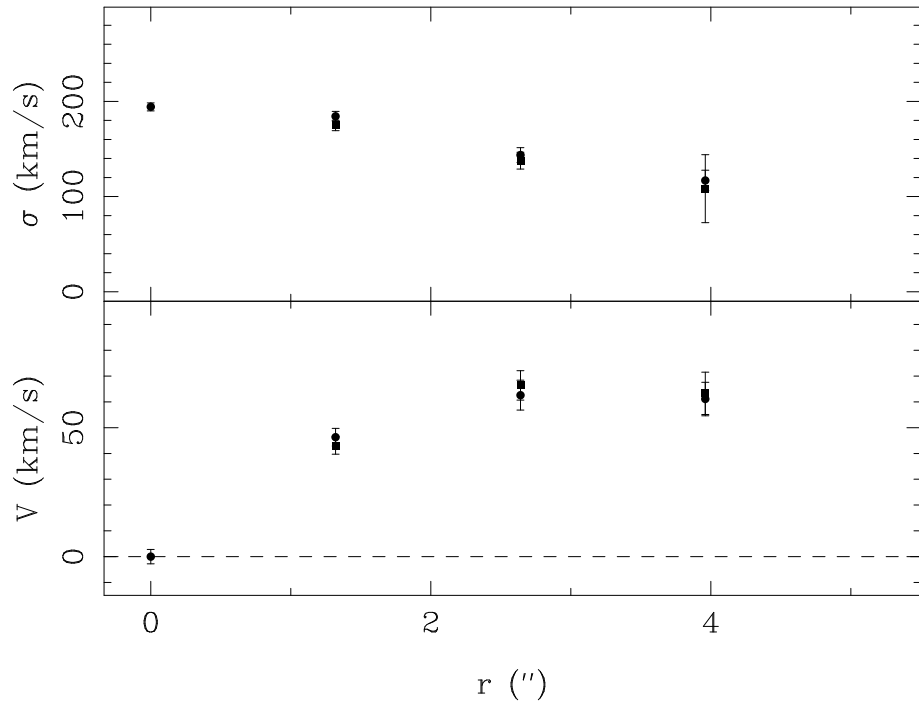
NGC 4489

$r(^{\circ})$	γ	v_o	σ_o	ajuste
0.0	0.906 ± 0.010	972.9 ± 0.9	49.3 ± 1.8	49.3
1.3	0.909 ± 0.012	969.5 ± 1.9	54.0 ± 3.0	50.4
-1.3	0.876 ± 0.012	972.3 ± 1.5	47.8 ± 2.7	50.4
2.6	0.822 ± 0.022	965.8 ± 2.6	55.5 ± 6.3	53.2
-2.6	0.841 ± 0.024	967.7 ± 2.9	49.9 ± 5.6	53.2
4.0	0.764 ± 0.026	970.2 ± 4.6	52.4 ± 7.9	53.6
-4.0	0.783 ± 0.033	964.1 ± 4.5	54.4 ± 7.7	53.6
5.3	0.724 ± 0.031	973.2 ± 4.8	47.7 ± 10.8	52.7
-5.3	0.734 ± 0.031	958.0 ± 4.8	50.3 ± 8.7	52.7
6.6	0.724 ± 0.041	975.9 ± 6.7	64.1 ± 12.6	51.2
-6.6	0.732 ± 0.040	954.3 ± 5.1	45.6 ± 12.1	51.2
8.6	0.706 ± 0.043	976.5 ± 6.1	67.4 ± 13.0	48.3
-8.6	0.708 ± 0.032	955.5 ± 5.5	55.2 ± 10.9	48.3
11.9	0.675 ± 0.036	995.1 ± 6.7	51.0 ± 18.1	42.9
-11.9	0.595 ± 0.025	946.7 ± 5.2	22.8 ± 10.9	42.9
18.5	0.645 ± 0.028	980.8 ± 4.0	37.4 ± 10.4	31.4
-18.5	0.668 ± 0.030	928.9 ± 5.1	23.7 ± 15.4	31.4

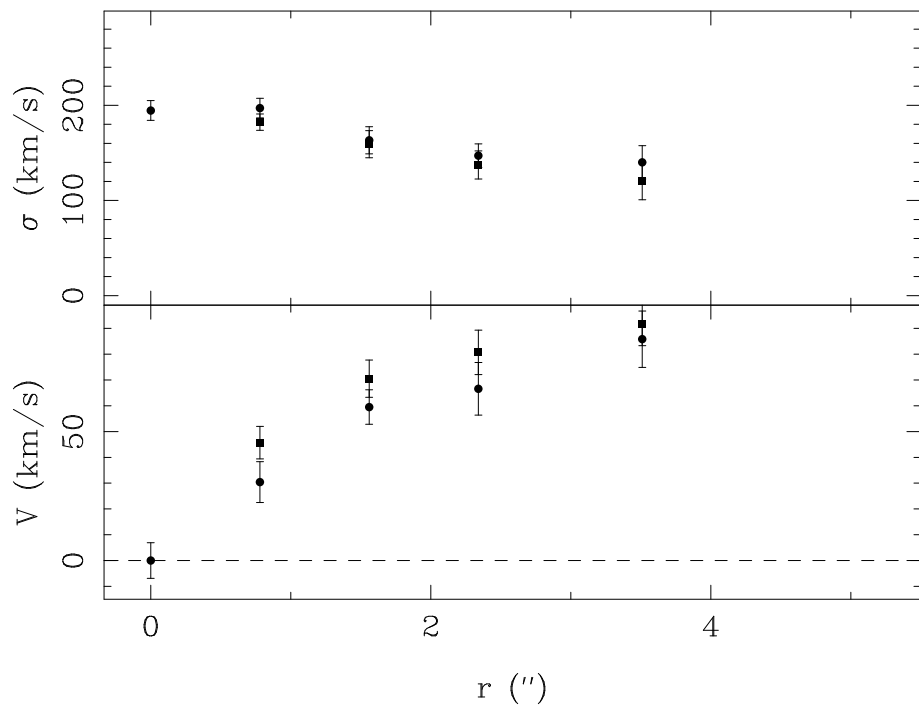
NGC 4515

$r(^{\circ})$	γ	v_o	σ_o	ajuste
0.0	0.926 ± 0.012	921.2 ± 1.3	77.6 ± 2.4	77.1
0.9	0.928 ± 0.010	921.4 ± 1.1	75.1 ± 1.3	75.1
-0.9	0.904 ± 0.011	920.4 ± 1.4	79.8 ± 2.3	82.4
1.8	0.917 ± 0.008	919.8 ± 1.7	77.2 ± 1.5	77.1
-1.8	0.904 ± 0.013	923.5 ± 2.6	87.2 ± 2.1	84.7
2.7	0.930 ± 0.010	920.7 ± 1.5	83.2 ± 1.9	82.4
-2.7	0.846 ± 0.024	932.4 ± 2.8	82.0 ± 4.6	85.4
3.6	0.881 ± 0.013	917.2 ± 1.7	83.0 ± 2.0	84.7
-3.6	0.838 ± 0.025	939.1 ± 3.3	83.3 ± 5.2	85.3
4.5	0.866 ± 0.022	910.9 ± 2.5	88.2 ± 4.3	85.4
-4.5	0.824 ± 0.033	939.5 ± 4.3	86.7 ± 8.8	84.6
5.4	0.822 ± 0.030	907.1 ± 3.6	84.5 ± 7.1	85.3
-5.8	0.822 ± 0.027	941.0 ± 4.5	85.1 ± 5.3	82.9
6.3	0.812 ± 0.035	904.8 ± 5.2	78.8 ± 10.6	84.6
7.6	0.809 ± 0.027	904.2 ± 3.9	80.9 ± 6.2	82.9
-8.1	0.768 ± 0.036	938.9 ± 6.4	90.6 ± 10.2	79.3
9.9	0.779 ± 0.038	908.3 ± 6.7	84.7 ± 9.2	79.3
-13.9	0.634 ± 0.061	936.8 ± 8.8	80.8 ± 25.4	68.1
15.8	0.638 ± 0.034	924.8 ± 7.5	56.8 ± 10.3	68.1

NGC 5846A



NGC 5846A

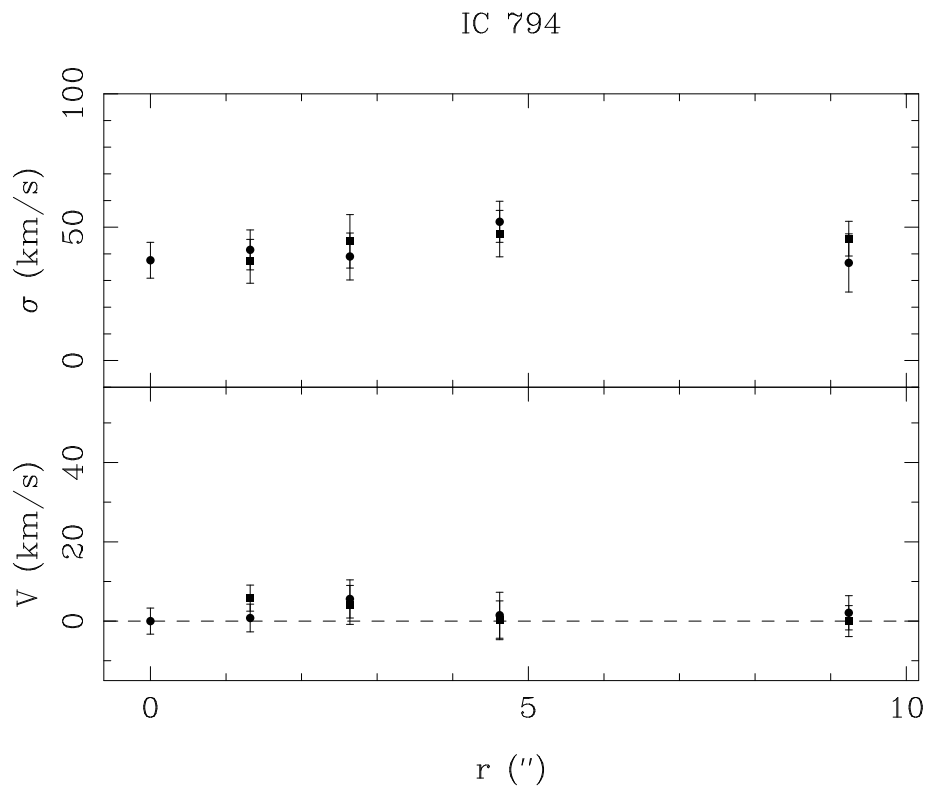
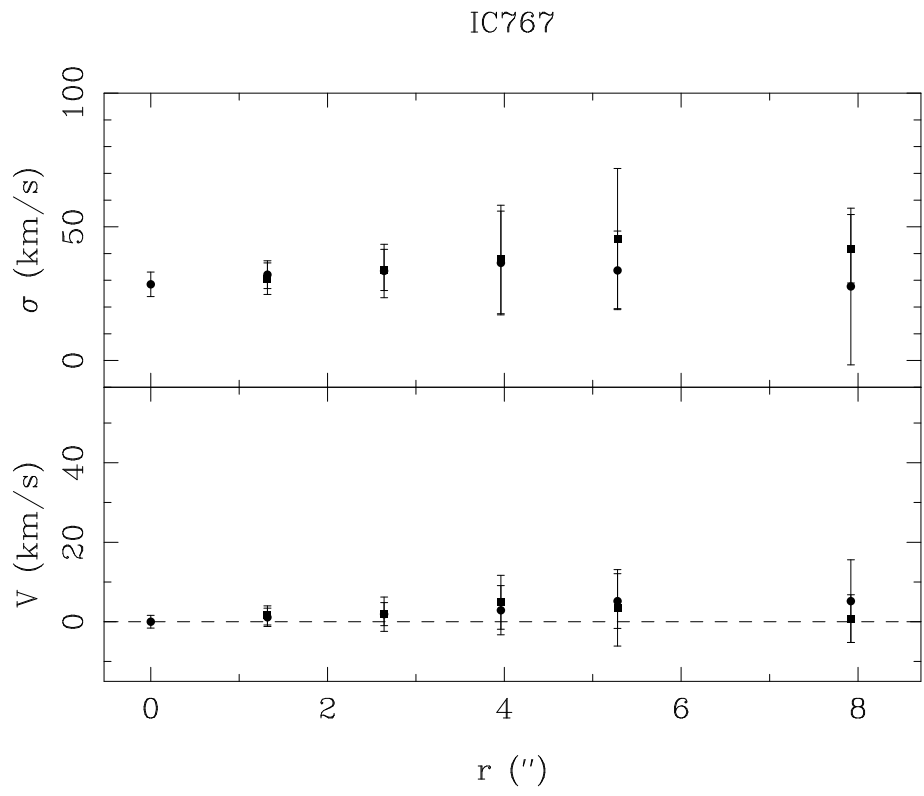


NGC 5846A

$r(^{\circ})$	γ	v_o	σ_o	ajuste
0.0	0.735 ± 0.012	2238.6 ± 2.8	194.2 ± 4.2	194.3
1.3	0.731 ± 0.015	2192.3 ± 3.4	184.4 ± 5.0	179.6
-1.3	0.709 ± 0.013	2281.7 ± 3.4	174.7 ± 5.5	179.6
2.6	0.674 ± 0.022	2176.0 ± 5.8	143.6 ± 7.7	143.1
-2.6	0.651 ± 0.024	2305.0 ± 5.7	137.7 ± 8.8	143.1
4.0	0.601 ± 0.032	2177.5 ± 6.5	116.8 ± 10.8	112.7
-4.0	0.590 ± 0.046	2301.9 ± 8.2	108.2 ± 35.7	112.7

NGC 5846A

$r(^{\circ})$	γ	v_o	σ_o	ajuste
0.0	0.871 ± 0.026	2196.3 ± 6.9	194.5 ± 10.4	194.5
0.8	0.874 ± 0.025	2165.9 ± 7.9	197.0 ± 10.3	188.4
-0.8	0.814 ± 0.023	2242.0 ± 6.3	182.2 ± 8.6	188.4
1.6	0.840 ± 0.031	2136.8 ± 6.7	163.2 ± 14.2	160.3
-1.6	0.764 ± 0.032	2266.8 ± 7.2	159.1 ± 14.2	160.3
2.3	0.816 ± 0.042	2129.7 ± 10.2	147.1 ± 12.3	143.9
-2.3	0.770 ± 0.032	2277.0 ± 8.6	137.3 ± 14.8	143.9
3.5	0.747 ± 0.036	2110.5 ± 10.9	140.0 ± 17.5	130.9
-3.5	0.721 ± 0.040	2288.0 ± 8.4	120.4 ± 19.7	130.9



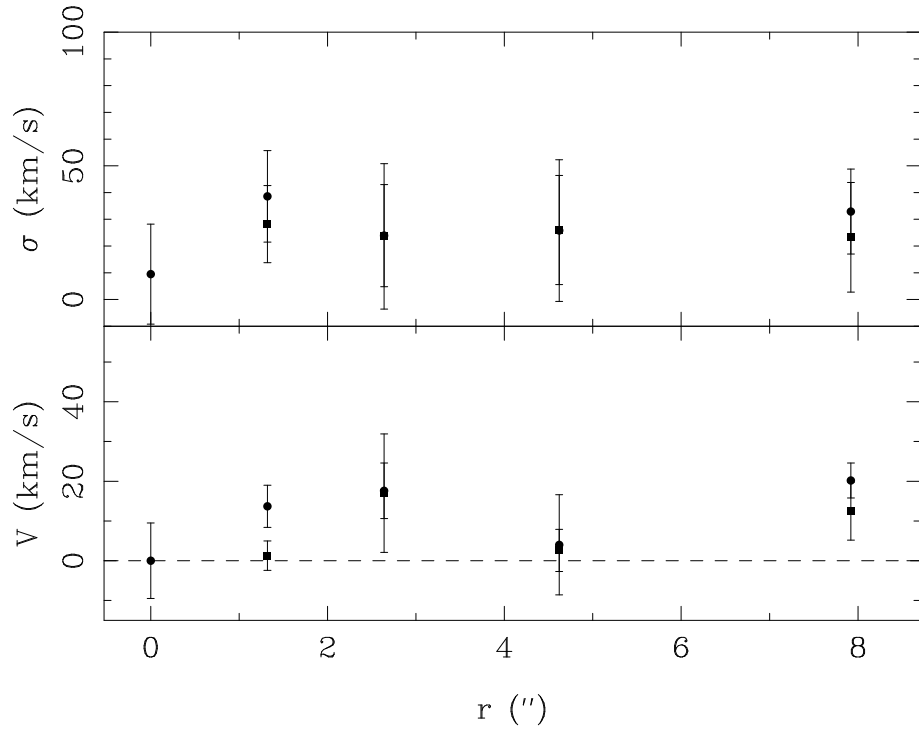
IC 767

$r(^{\circ})$	γ	v_o		σ_o		ajuste
0.0	0.665 ± 0.012	$1896.9 \pm$	1.6	$28.5 \pm$	4.6	28.5
1.3	0.655 ± 0.018	$1895.8 \pm$	2.3	$32.1 \pm$	5.2	31.4
-1.3	0.655 ± 0.014	$1895.3 \pm$	2.4	$30.6 \pm$	5.9	31.4
2.6	0.613 ± 0.025	$1898.8 \pm$	2.9	$33.5 \pm$	10.0	33.9
-2.6	0.625 ± 0.020	$1895.0 \pm$	4.3	$33.9 \pm$	7.7	33.9
4.0	0.577 ± 0.039	$1899.8 \pm$	6.2	$36.5 \pm$	19.4	35.8
-4.0	0.573 ± 0.033	$1901.8 \pm$	6.8	$37.8 \pm$	20.3	35.8
5.3	0.559 ± 0.039	$1902.1 \pm$	6.9	$33.7 \pm$	14.7	37.2
-5.3	0.555 ± 0.051	$1893.4 \pm$	9.6	$45.6 \pm$	26.2	37.2
7.9	0.501 ± 0.038	$1891.7 \pm$	10.4	$27.7 \pm$	29.3	39.4
-7.9	0.568 ± 0.028	$1896.1 \pm$	6.0	$41.8 \pm$	12.8	39.4

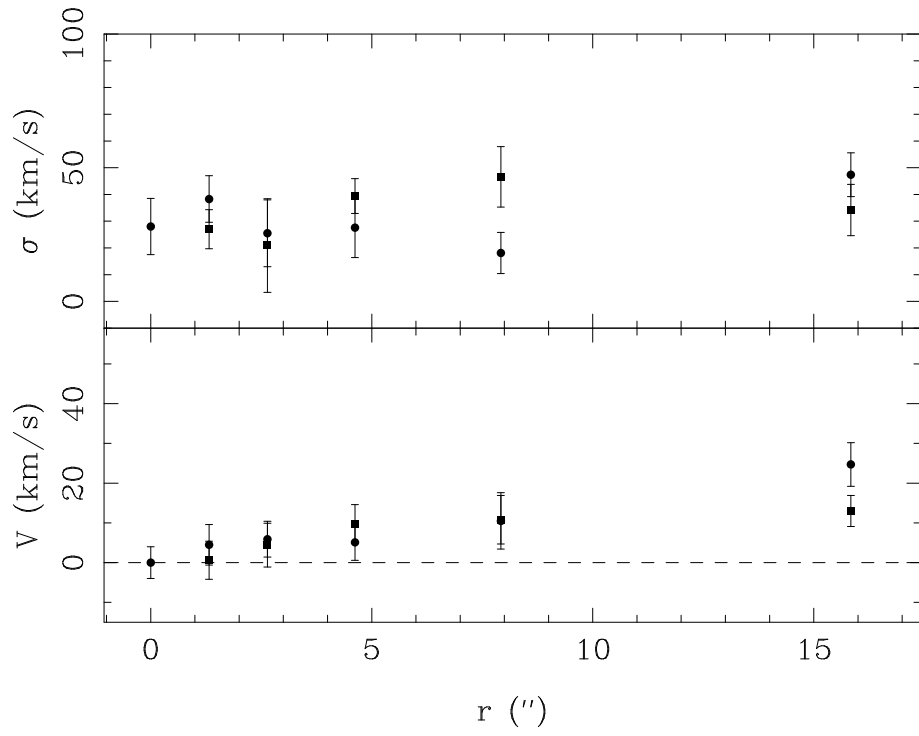
IC 794

$r(^{\circ})$	γ	v_o		σ_o		ajuste
0.0	0.826 ± 0.022	$1938.8 \pm$	3.3	$37.6 \pm$	6.7	37.7
1.3	0.832 ± 0.030	$1938.0 \pm$	3.5	$41.5 \pm$	7.5	38.5
-1.3	0.822 ± 0.033	$1933.0 \pm$	3.3	$37.2 \pm$	8.2	38.5
2.6	0.856 ± 0.026	$1944.4 \pm$	4.8	$39.0 \pm$	8.8	45.0
-2.6	0.794 ± 0.037	$1934.7 \pm$	4.9	$44.7 \pm$	10.0	45.0
4.6	0.806 ± 0.030	$1940.3 \pm$	5.8	$52.0 \pm$	7.7	47.9
-4.6	0.868 ± 0.031	$1939.0 \pm$	4.9	$47.6 \pm$	8.7	47.9
9.2	0.772 ± 0.024	$1940.9 \pm$	4.3	$36.6 \pm$	10.9	43.8
-9.2	0.829 ± 0.025	$1938.8 \pm$	3.9	$45.7 \pm$	6.5	43.8

IC 3393



UGC 7436

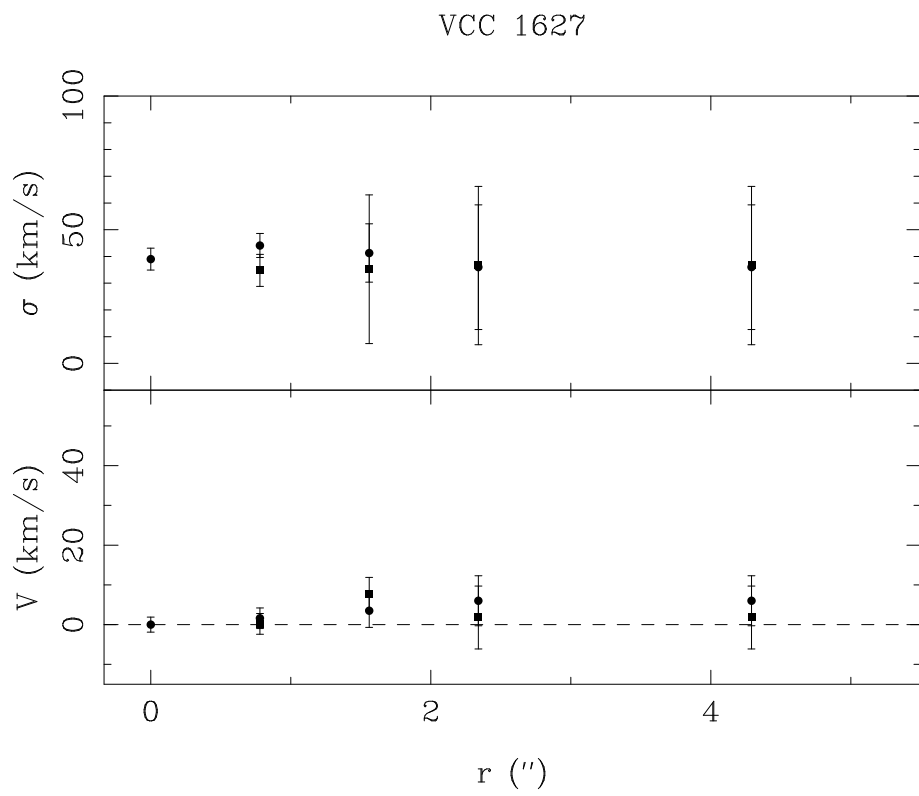
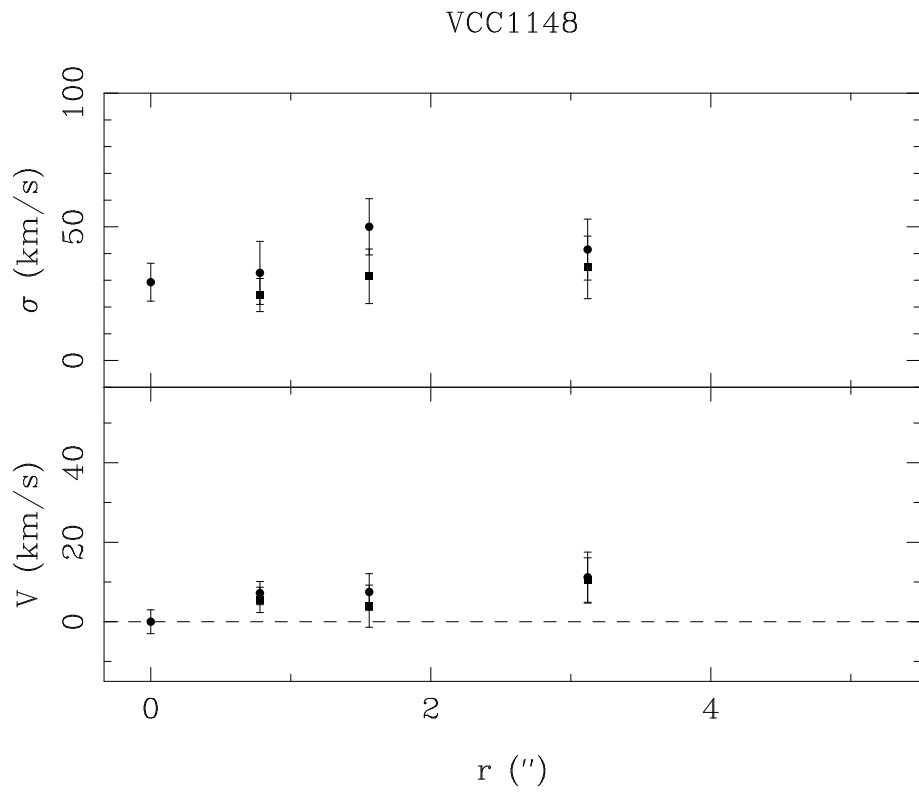


IC 3393

$r(^{\circ})$	γ	v_o	σ_o	ajuste
0.0	0.770 ± 0.032	489.5 ± 9.5	9.5 ± 18.7	9.6
1.3	0.811 ± 0.045	475.8 ± 5.3	38.6 ± 17.1	32.0
-1.3	0.819 ± 0.042	488.2 ± 3.7	28.2 ± 14.4	32.0
2.6	0.792 ± 0.048	471.9 ± 7.0	23.9 ± 19.1	26.1
-2.6	0.760 ± 0.046	506.5 ± 14.9	23.6 ± 27.2	26.1
4.6	0.722 ± 0.031	485.5 ± 12.6	25.8 ± 26.5	23.7
-4.6	0.746 ± 0.040	492.1 ± 5.3	26.0 ± 20.4	23.7
7.9	0.748 ± 0.036	469.3 ± 4.4	32.9 ± 15.9	29.7
-7.9	0.617 ± 0.030	502.0 ± 7.3	23.3 ± 20.5	29.7

UGC 7436

$r(^{\circ})$	γ	v_o	σ_o	ajuste
0.0	0.730 ± 0.034	998.4 ± 4.0	28.0 ± 10.5	27.6
1.3	0.784 ± 0.035	1002.9 ± 5.1	38.3 ± 8.7	31.9
-1.3	0.700 ± 0.031	997.8 ± 4.8	27.0 ± 7.3	31.9
2.6	0.742 ± 0.034	1004.3 ± 4.5	25.5 ± 12.5	30.8
-2.6	0.679 ± 0.035	994.0 ± 5.5	20.9 ± 17.5	30.8
4.6	0.683 ± 0.027	1003.5 ± 4.5	27.6 ± 11.2	30.8
-4.6	0.674 ± 0.030	988.7 ± 4.9	39.4 ± 6.5	30.8
7.9	0.651 ± 0.032	1008.9 ± 7.1	18.1 ± 7.7	32.9
-7.9	0.679 ± 0.030	987.6 ± 6.1	46.6 ± 11.3	32.9
15.8	0.608 ± 0.029	1023.1 ± 5.5	47.4 ± 8.2	40.6
-15.8	0.666 ± 0.028	985.4 ± 3.9	34.2 ± 9.6	40.6



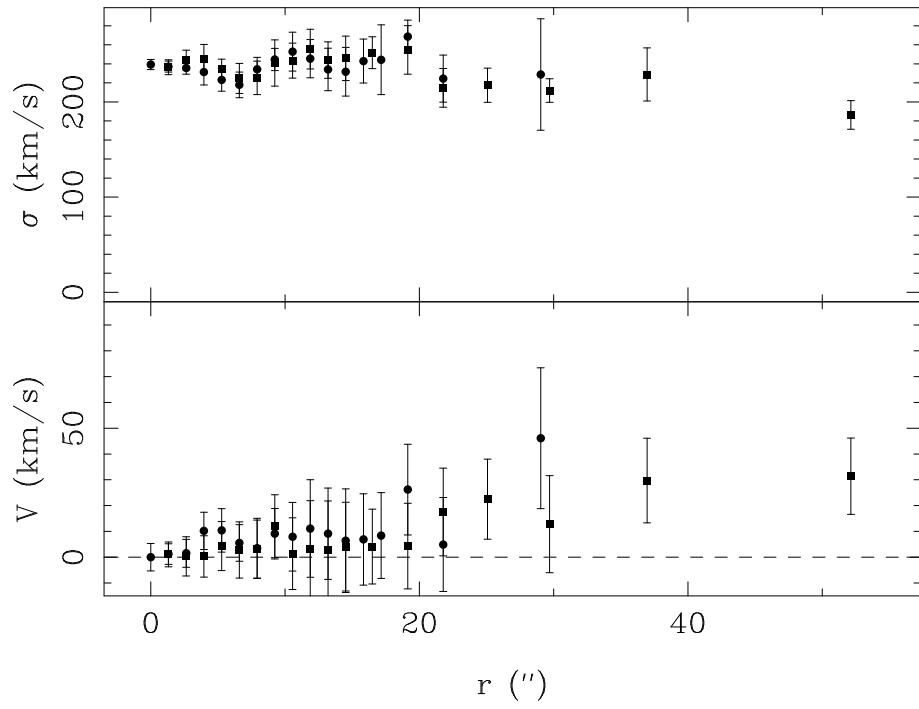
VCC 1148

$r(^{\circ})$	γ	v_o	σ_o	ajuste
0.0	0.853 ± 0.017	1423.0 ± 3.0	29.3 ± 7.1	29.3
0.8	0.866 ± 0.028	1415.8 ± 2.9	32.8 ± 11.8	26.3
-0.8	0.867 ± 0.023	1428.5 ± 3.2	24.5 ± 6.2	26.3
1.6	0.868 ± 0.028	1415.5 ± 4.6	50.0 ± 10.5	40.5
-1.6	0.890 ± 0.030	1426.9 ± 5.3	31.5 ± 10.2	40.5
3.1	0.898 ± 0.027	1411.8 ± 6.3	41.5 ± 11.4	38.2
-3.1	0.933 ± 0.027	1412.6 ± 5.7	34.8 ± 11.7	38.2

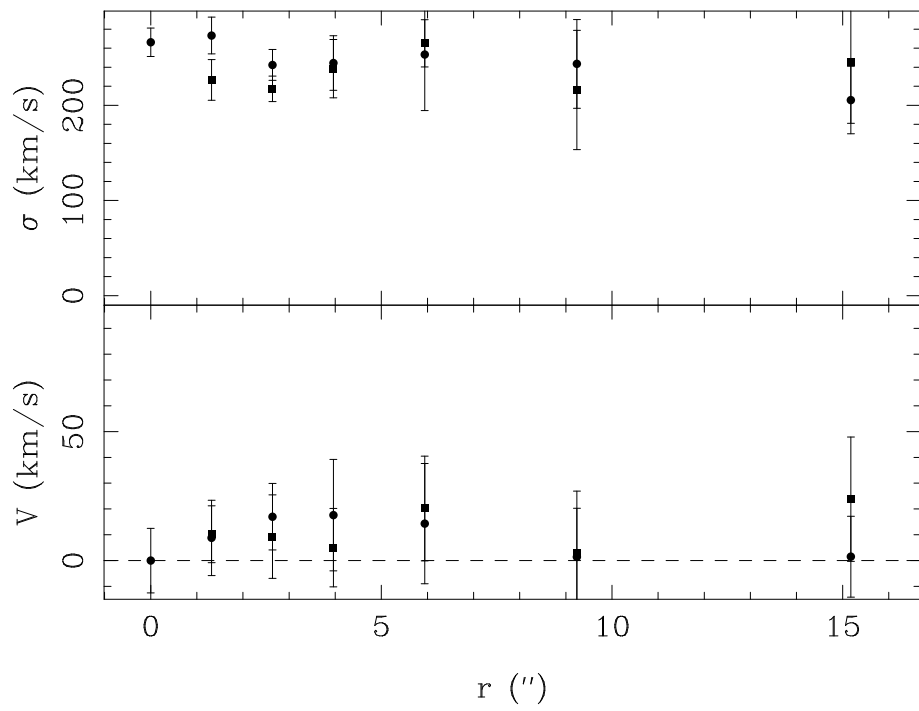
VCC 1627

$r(^{\circ})$	γ	v_o	σ_o	ajuste
0.0	0.998 ± 0.014	292.5 ± 1.9	39.0 ± 4.1	39.0
0.8	1.021 ± 0.020	294.1 ± 2.6	44.1 ± 4.5	40.8
-0.8	0.980 ± 0.015	292.3 ± 2.6	34.8 ± 6.0	40.8
1.6	0.962 ± 0.024	296.0 ± 4.2	41.3 ± 10.9	39.5
-1.6	0.961 ± 0.028	300.3 ± 4.1	35.2 ± 27.8	39.5
2.3	0.861 ± 0.048	298.5 ± 6.3	36.0 ± 23.3	38.0
-2.3	0.959 ± 0.052	290.7 ± 7.9	36.6 ± 29.6	38.0
4.3	0.861 ± 0.048	298.5 ± 6.3	36.0 ± 23.3	38.0
-4.3	0.959 ± 0.052	290.7 ± 7.9	36.6 ± 29.6	38.0

NGC 5846 (2)



NGC 5846 (77)



NGC 5846 (2)

$r(^{\circ})$	γ	v_o		σ_o		ajuste
0.0	0.772 ± 0.014	$1715.3 \pm$	5.3	$239.3 \pm$	5.3	239.2
1.3	0.774 ± 0.015	$1716.5 \pm$	4.0	$237.1 \pm$	5.8	238.3
-1.3	0.768 ± 0.014	$1716.4 \pm$	4.8	$236.4 \pm$	7.8	238.3
2.6	0.780 ± 0.018	$1716.8 \pm$	5.4	$235.7 \pm$	6.5	233.3
-2.6	0.763 ± 0.019	$1715.0 \pm$	7.6	$243.9 \pm$	10.5	233.3
4.0	0.751 ± 0.026	$1705.1 \pm$	7.2	$231.3 \pm$	13.5	233.4
-4.0	0.755 ± 0.025	$1715.0 \pm$	8.0	$245.2 \pm$	15.1	233.4
5.3	0.721 ± 0.024	$1704.9 \pm$	8.4	$223.1 \pm$	11.9	234.9
-5.3	0.742 ± 0.023	$1711.0 \pm$	9.5	$234.2 \pm$	10.8	234.9
6.6	0.704 ± 0.027	$1709.8 \pm$	7.1	$217.9 \pm$	13.5	236.4
-6.6	0.717 ± 0.036	$1718.1 \pm$	10.9	$224.7 \pm$	15.8	236.4
7.9	0.703 ± 0.025	$1718.8 \pm$	11.6	$234.3 \pm$	12.5	237.8
-7.9	0.723 ± 0.036	$1718.4 \pm$	11.3	$225.3 \pm$	17.6	237.8
9.2	0.702 ± 0.029	$1724.4 \pm$	9.8	$244.6 \pm$	11.7	238.9
-9.2	0.717 ± 0.039	$1703.3 \pm$	12.2	$240.9 \pm$	24.3	238.9
10.6	0.704 ± 0.040	$1723.2 \pm$	13.3	$252.8 \pm$	20.4	239.6
-10.6	0.681 ± 0.035	$1713.9 \pm$	13.9	$243.4 \pm$	18.4	239.6
11.9	0.667 ± 0.029	$1704.2 \pm$	18.9	$245.4 \pm$	20.1	240.0
-11.9	0.673 ± 0.042	$1718.6 \pm$	18.6	$255.5 \pm$	20.8	240.0
13.2	0.655 ± 0.038	$1706.2 \pm$	17.7	$234.1 \pm$	22.3	240.1
-13.2	0.639 ± 0.037	$1718.0 \pm$	19.1	$244.0 \pm$	19.2	240.1
14.5	0.670 ± 0.065	$1708.9 \pm$	20.1	$231.7 \pm$	25.5	239.9
-14.5	0.657 ± 0.047	$1711.2 \pm$	17.2	$245.8 \pm$	23.4	239.9
15.8	0.665 ± 0.037	$1708.4 \pm$	17.7	$242.9 \pm$	23.1	239.5
-16.5	0.659 ± 0.032	$1719.4 \pm$	14.5	$251.7 \pm$	16.7	239.1
17.2	0.614 ± 0.054	$1706.9 \pm$	16.6	$244.3 \pm$	36.6	238.8
19.1	0.623 ± 0.031	$1689.1 \pm$	17.6	$268.7 \pm$	17.3	237.4
-19.1	0.662 ± 0.045	$1719.6 \pm$	16.6	$254.7 \pm$	25.5	237.4
21.8	0.608 ± 0.039	$1710.4 \pm$	18.2	$224.5 \pm$	24.8	235.0
-21.8	0.591 ± 0.039	$1697.8 \pm$	17.0	$214.8 \pm$	20.3	235.0
-25.1	0.579 ± 0.030	$1737.8 \pm$	15.5	$217.5 \pm$	17.9	231.2
29.0	0.501 ± 0.042	$1669.2 \pm$	27.3	$228.8 \pm$	58.6	225.7
-37.0	0.464 ± 0.035	$1745.0 \pm$	16.4	$228.8 \pm$	27.9	212.6
-29.7	0.583 ± 0.031	$1728.1 \pm$	18.8	$212.0 \pm$	12.4	224.7
-52.1	0.339 ± 0.019	$1746.7 \pm$	14.8	$186.3 \pm$	15.1	182.8

NGC 5846 (77)

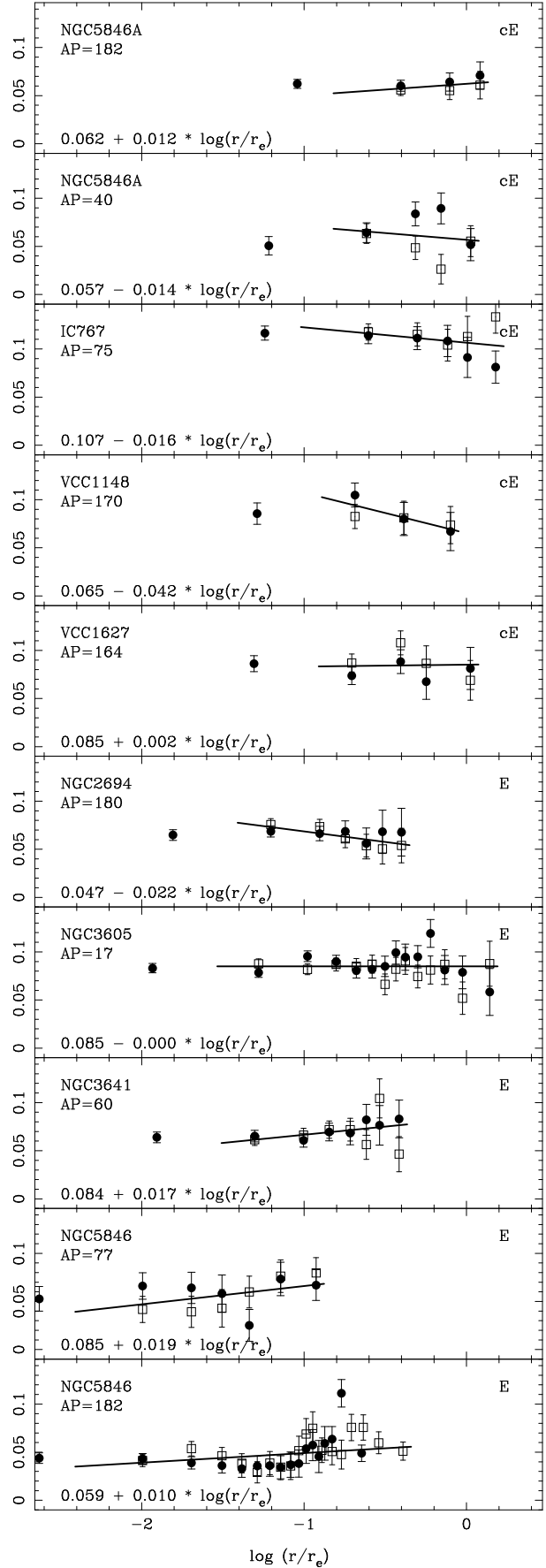
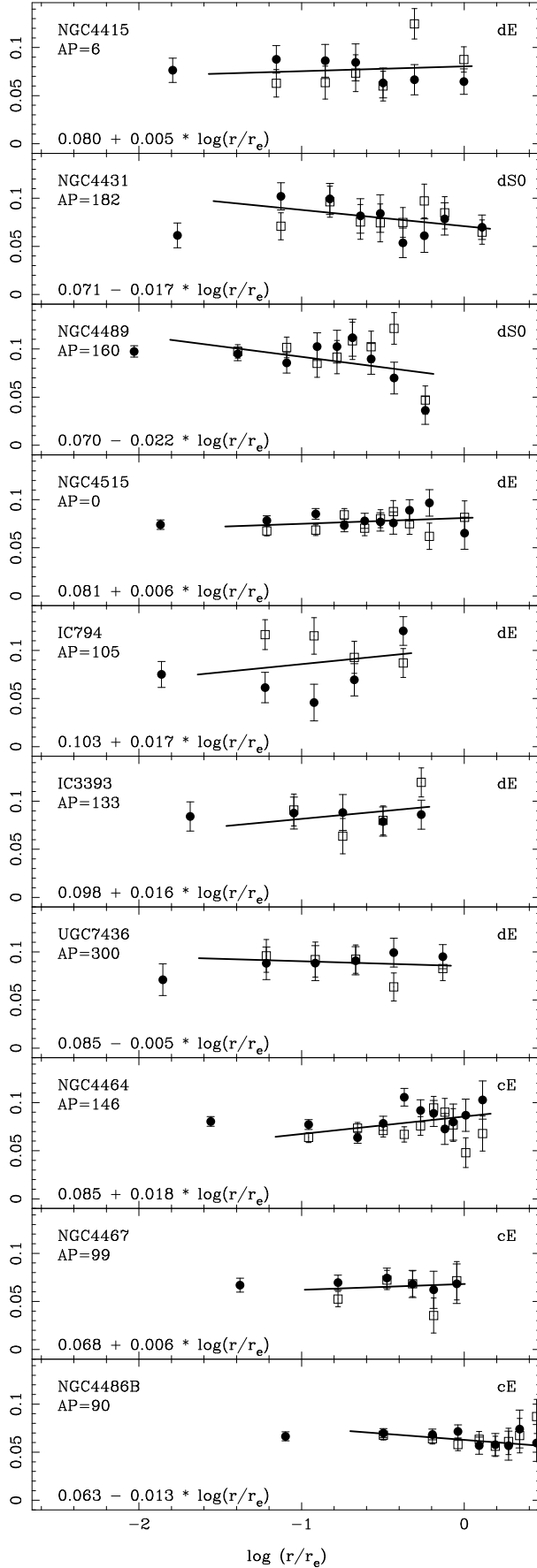
$r(^{\circ})$	γ	v_o	σ_o	ajuste
0.0	0.835 ± 0.040	1726.7 ± 12.5	266.2 ± 14.9	266.3
1.3	0.855 ± 0.037	1717.9 ± 14.6	273.3 ± 19.3	251.1
-1.3	0.772 ± 0.044	1736.9 ± 11.0	226.6 ± 21.4	251.1
2.6	0.827 ± 0.040	1709.7 ± 12.9	242.4 ± 16.2	229.5
-2.6	0.790 ± 0.035	1736.0 ± 16.2	217.3 ± 13.4	229.5
4.0	0.788 ± 0.046	1709.1 ± 21.6	244.4 ± 28.6	237.9
-4.0	0.834 ± 0.056	1721.7 ± 15.2	238.5 ± 30.6	237.9
5.9	0.814 ± 0.085	1712.4 ± 23.3	253.4 ± 58.9	253.7
-5.9	0.763 ± 0.047	1706.5 ± 20.3	265.1 ± 24.8	253.7
9.2	0.736 ± 0.067	1725.3 ± 18.9	243.5 ± 46.6	259.4
-9.2	0.705 ± 0.087	1729.8 ± 23.8	216.1 ± 62.6	259.4
15.2	0.651 ± 0.045	1728.2 ± 15.7	205.5 ± 35.4	210.4
-15.2	0.820 ± 0.082	1750.5 ± 24.1	245.6 ± 64.5	210.4

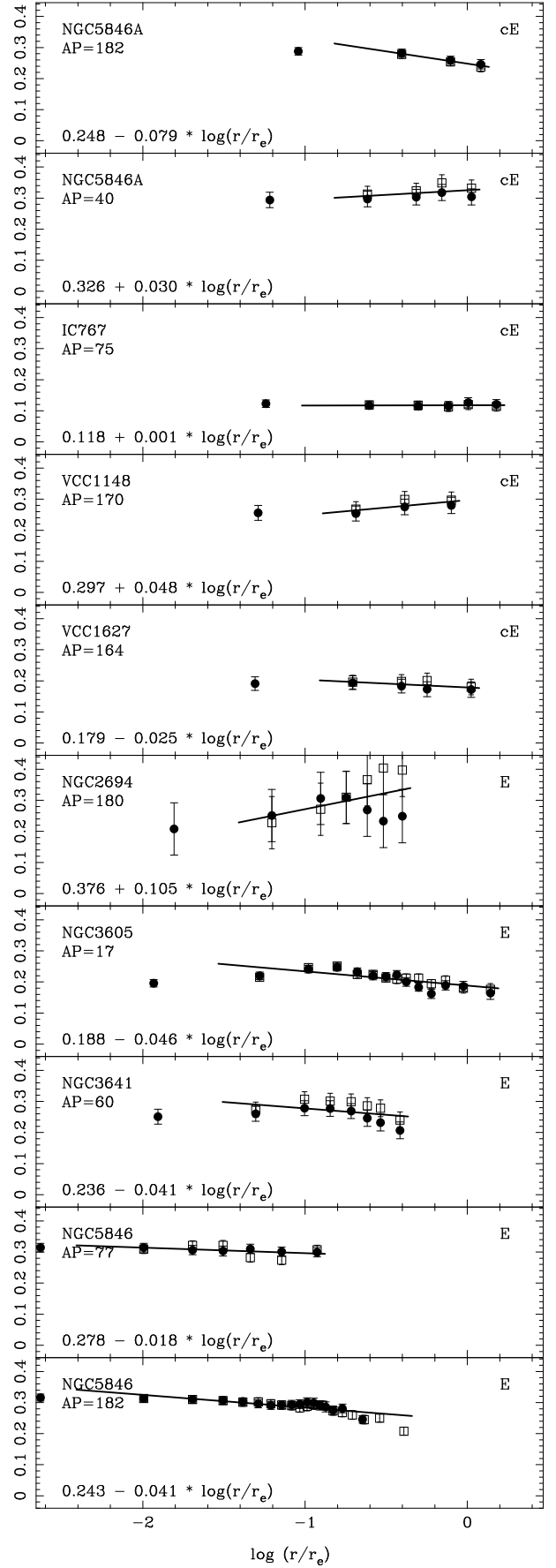
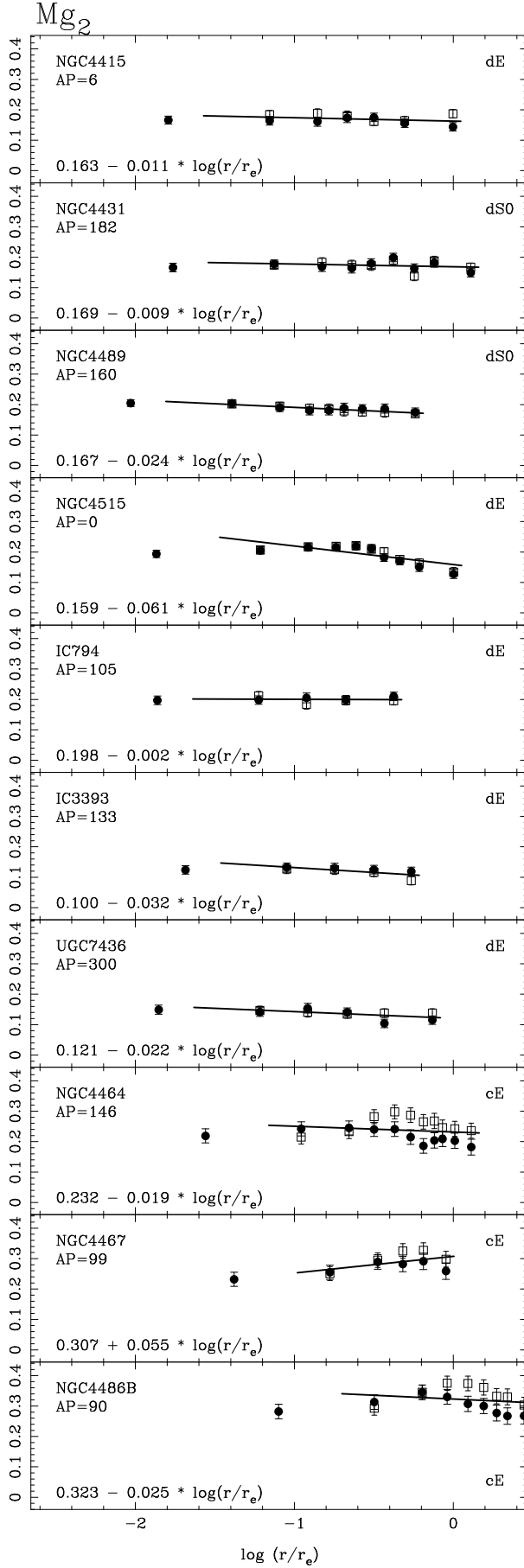
Apéndice C

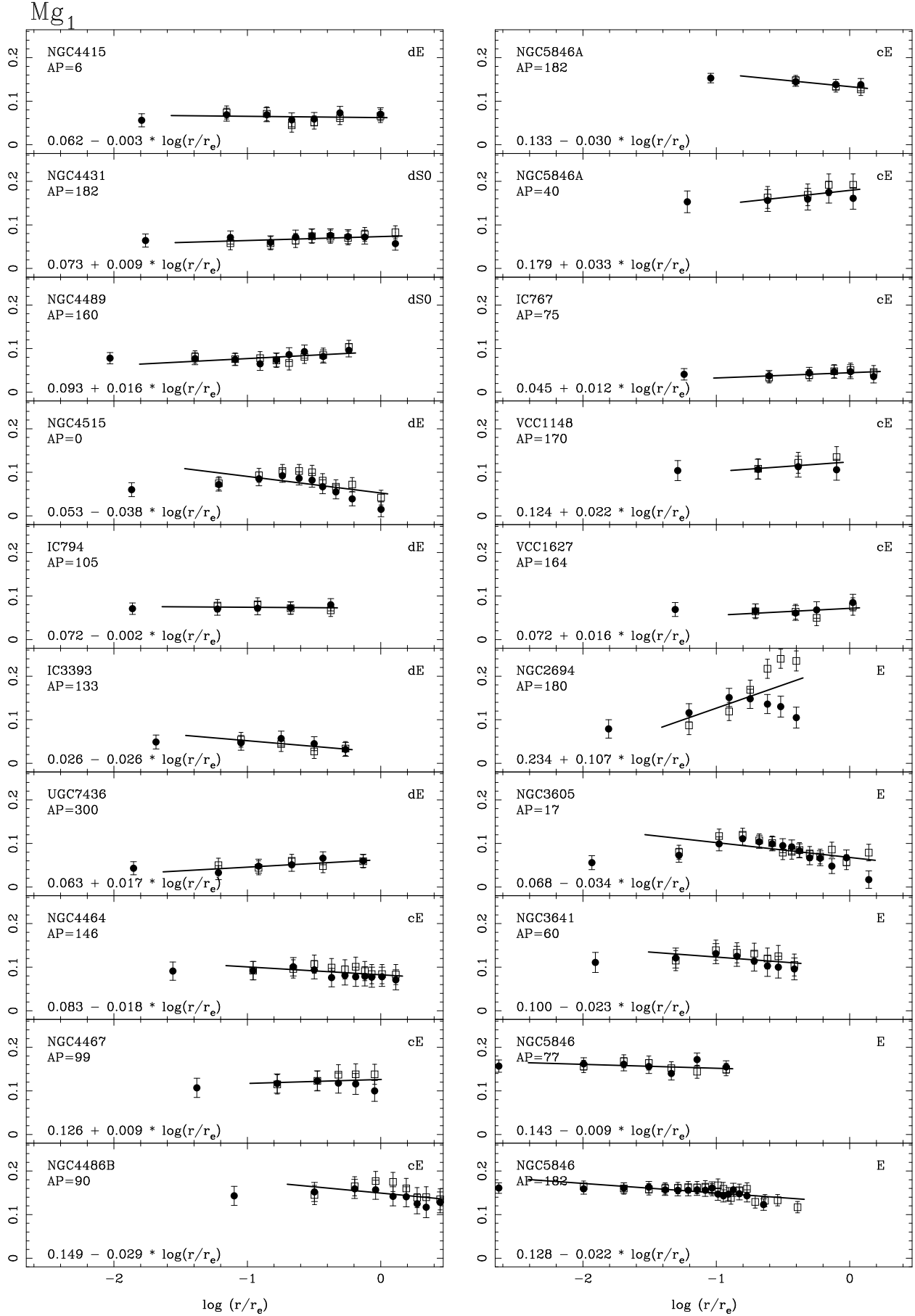
Gradientes de índices

Todos los gradientes de índices de intensidad de líneas que han sido posible medir en las 18 galaxias para las que contamos con observaciones de rendija larga, quedan reflejados en este apéndice. Las primeras páginas muestran las gráficas correspondientes a cada índice, agrupando a todas las galaxias para facilitar su comparación. Y las siguientes, presentan las tablas correspondientes a cada galaxia, con los valores de los índices y sus errores con los que se calcularon los correspondientes gradientes y con los que se han confeccionado las gráficas. En cada tabla tenemos además, una primera columna con la distancia al centro en segundos de arco y la segunda que muestra la relación señal/ruido por angstrom, medida en la región espectral en la que se define el índice Mg_2 . Como excepción, en las dos últimas tablas se muestran los valores del índice D_{4000} para todas las galaxias en las que se ha medido.

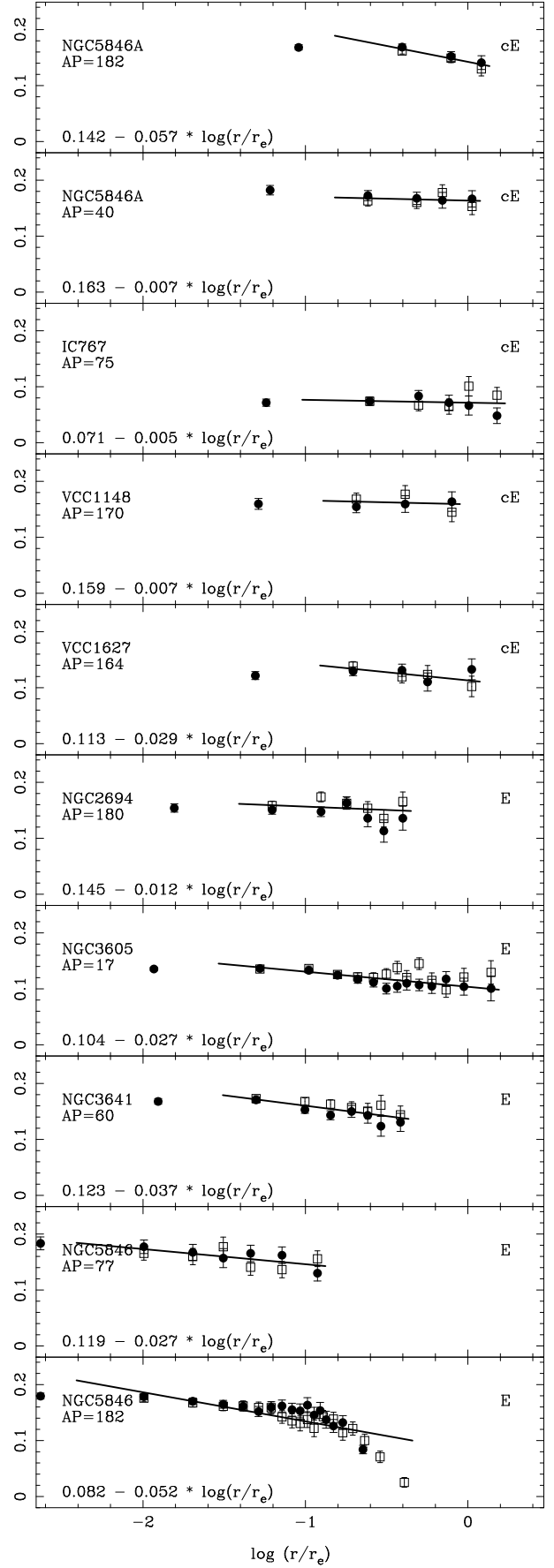
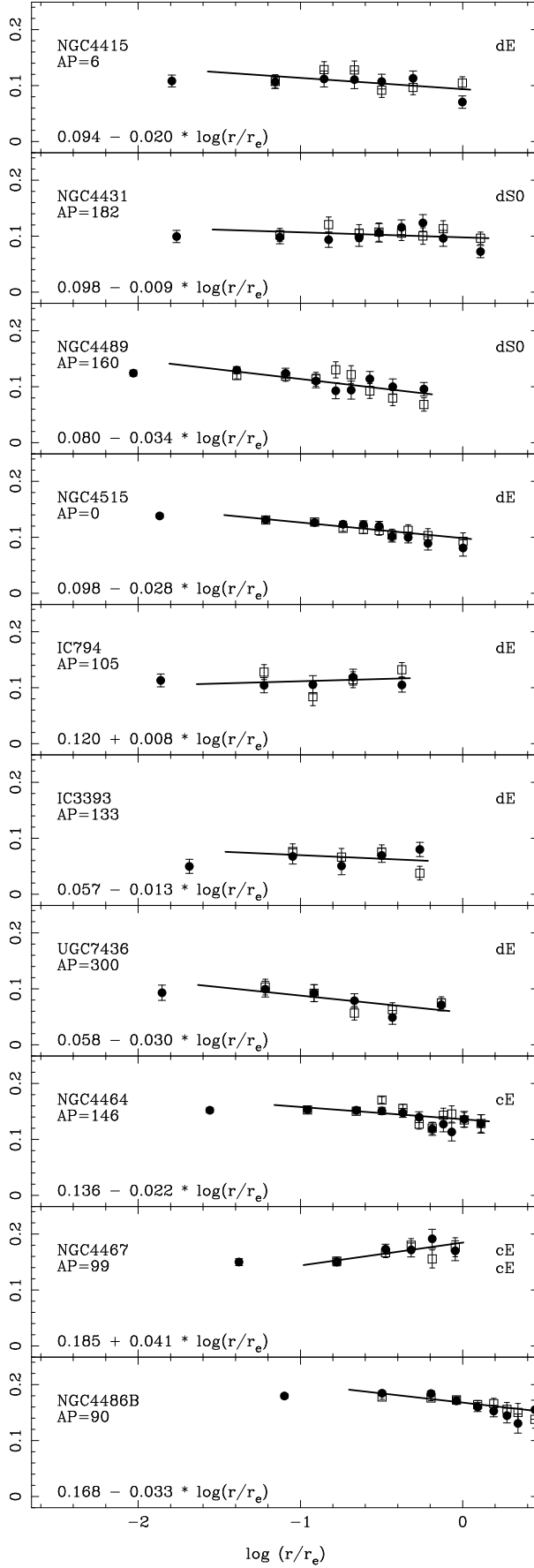
En cada panel, se representan los valores de los índices medidos con su barra de error, frente a su distancia al centro de la galaxia, mostrada como fracción del radio efectivo y en escala logarítmica. Los diferentes símbolos indican ambos lados de la galaxia. Sobre ellos está trazada la recta que representa el gradiente calculado sin utilizar el valor central.

H β 

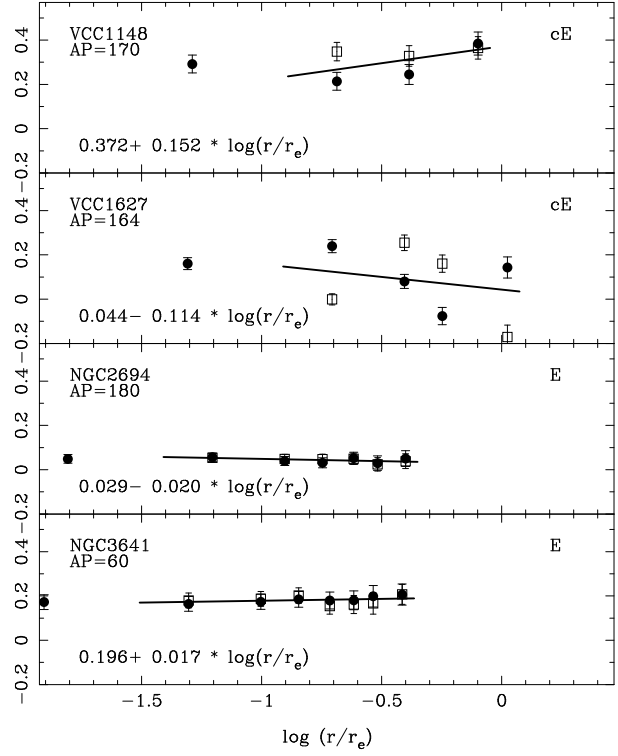
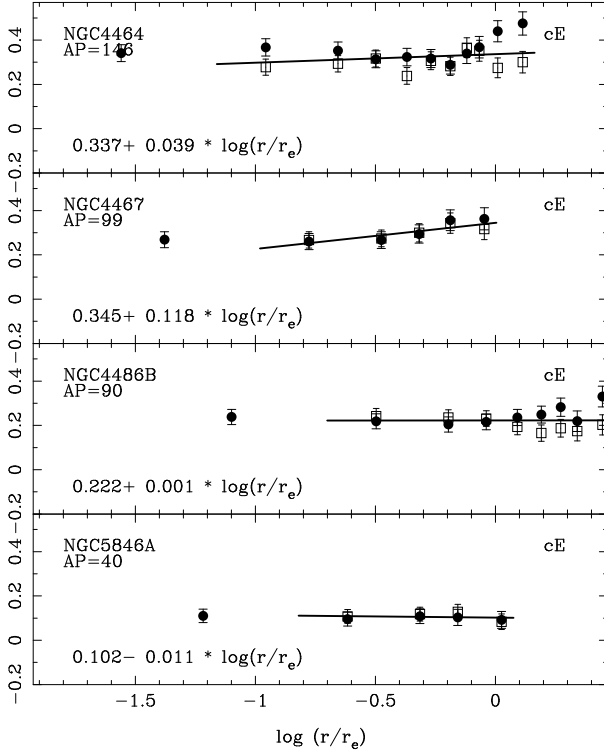




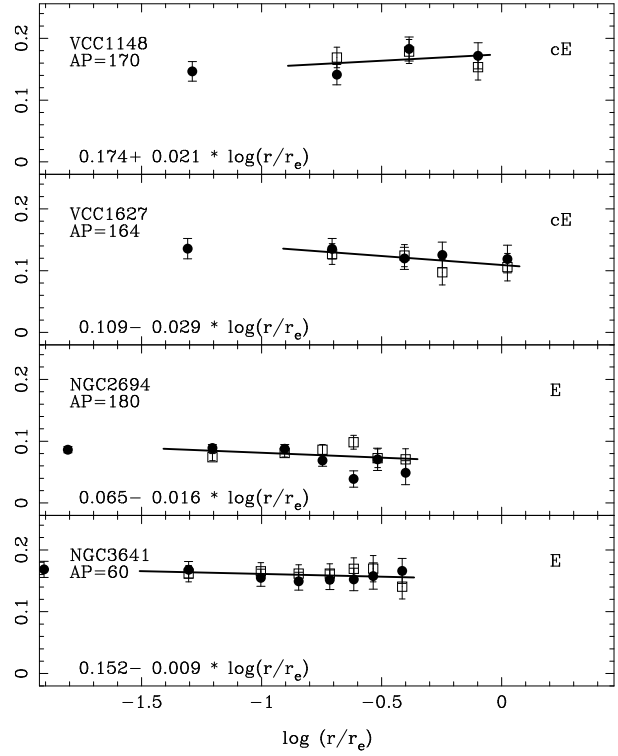
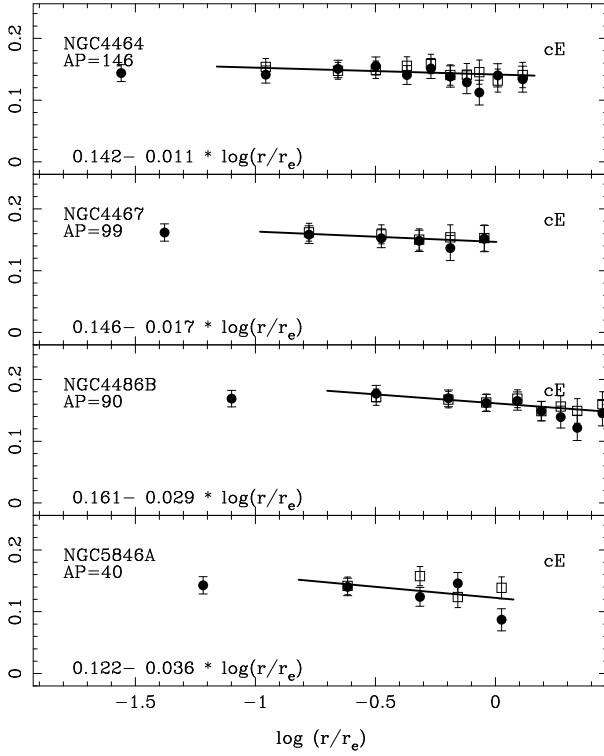
Mgb



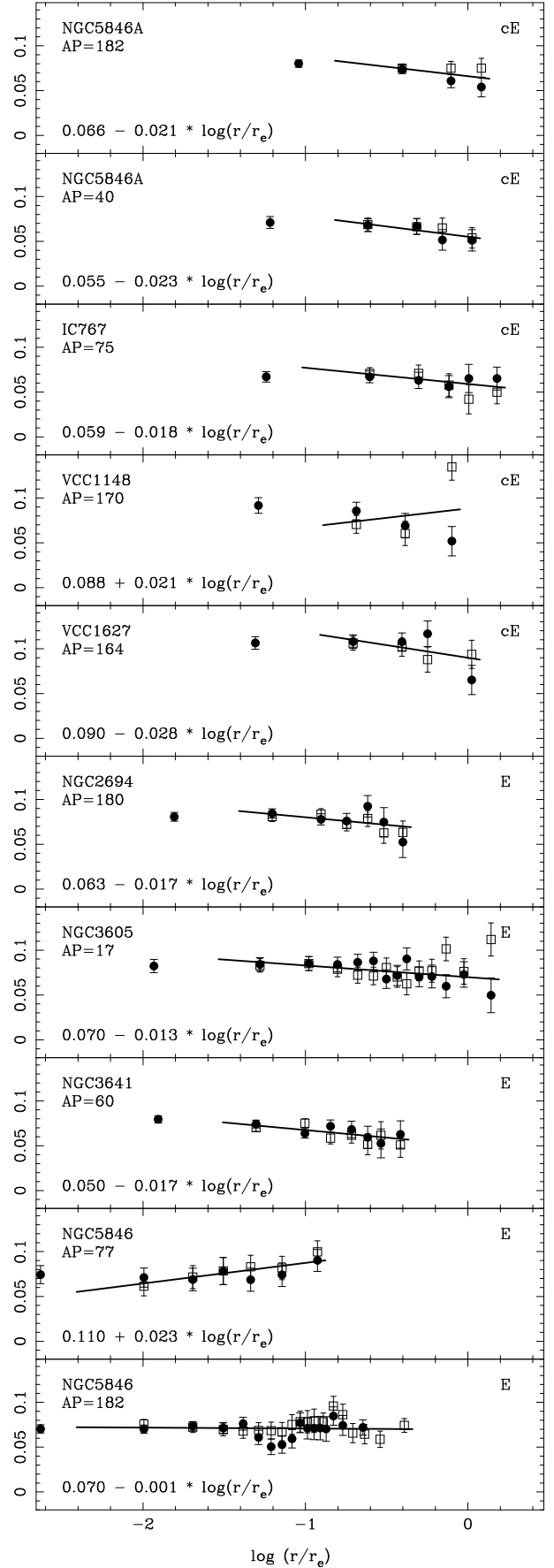
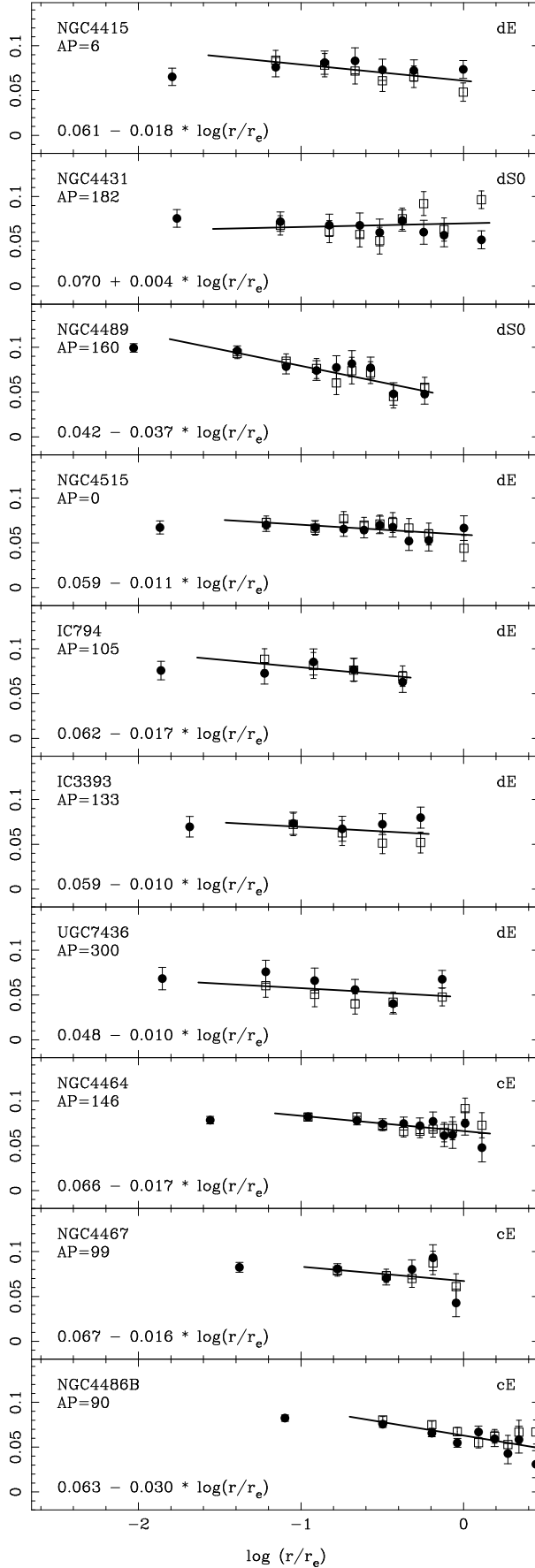
Fe4531



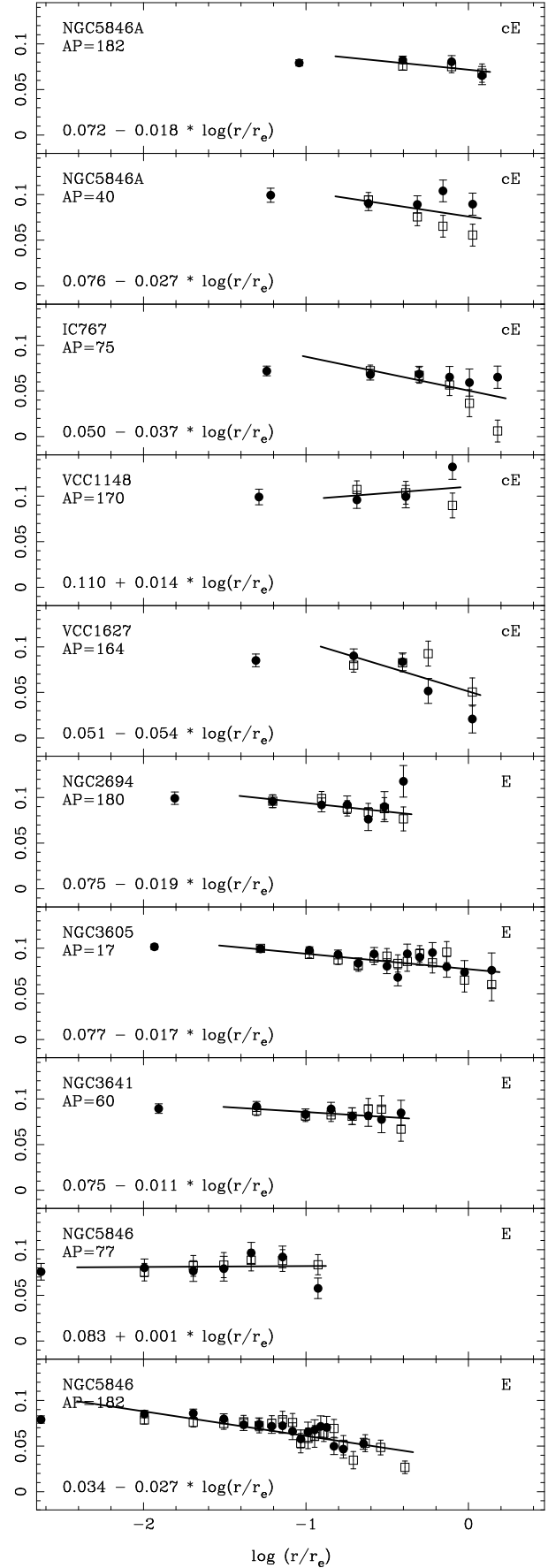
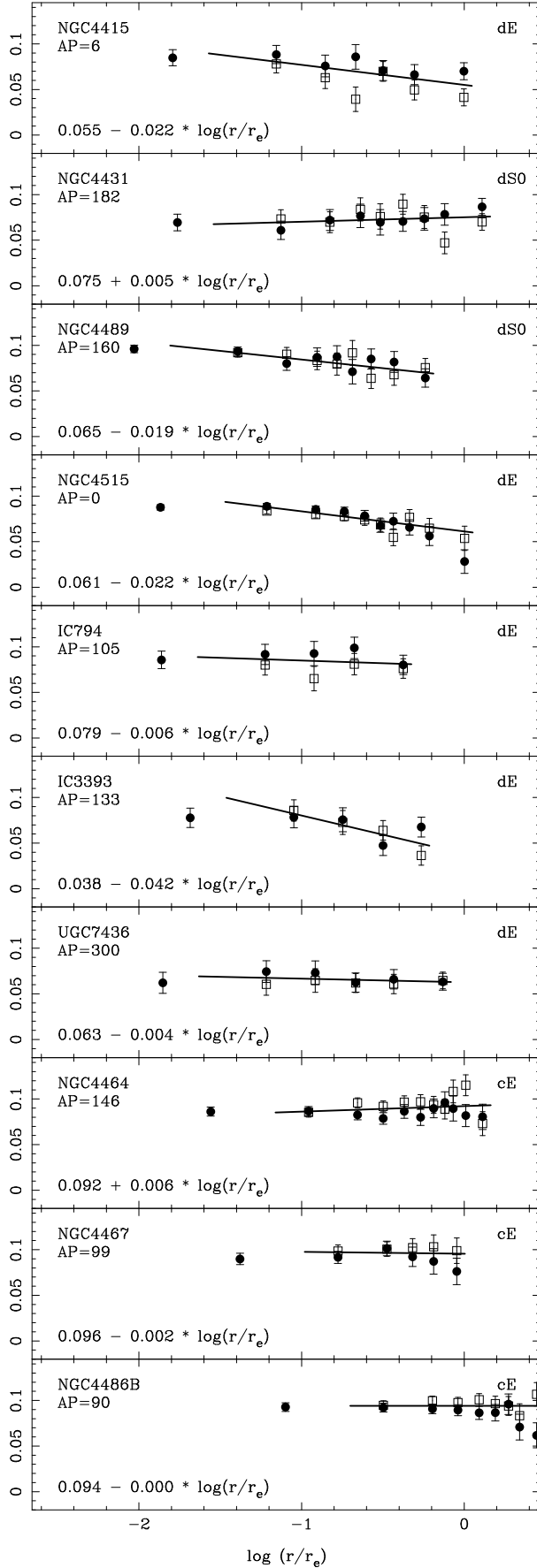
Fe4668

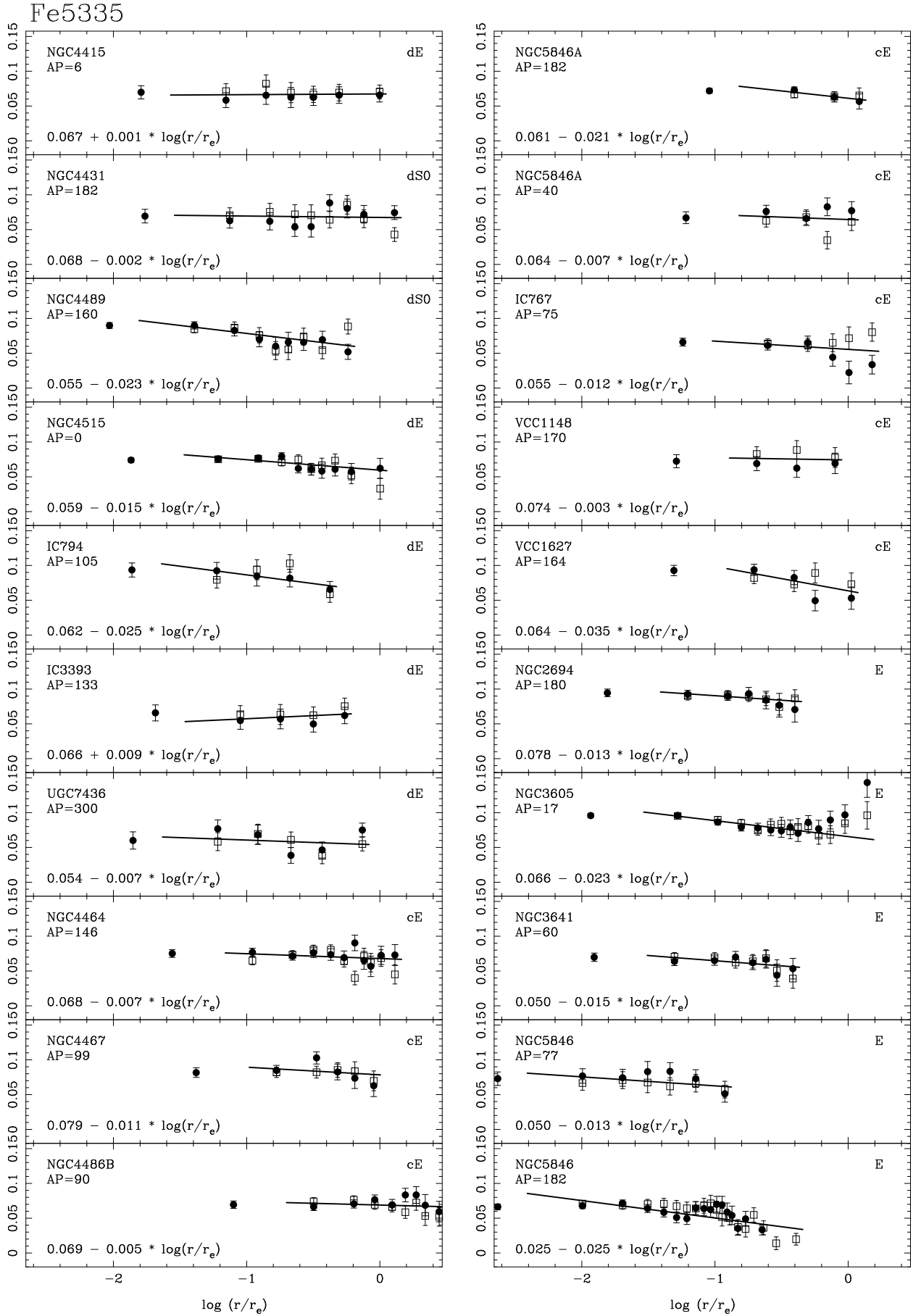


Fe5015

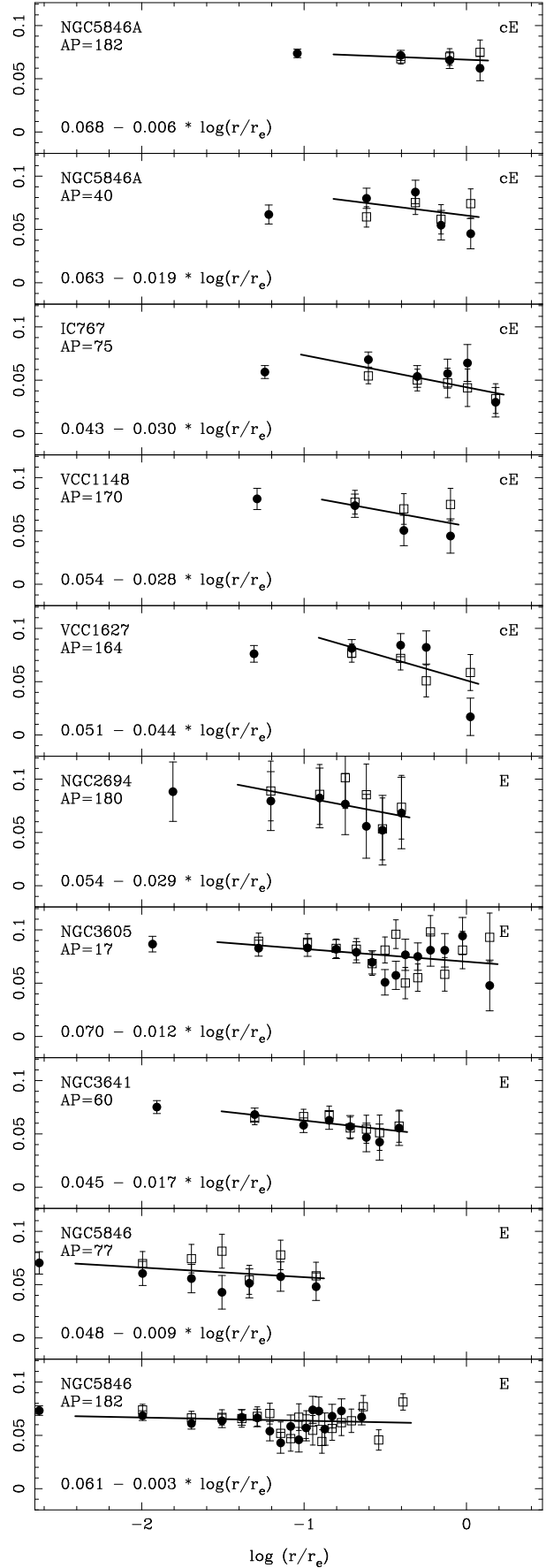
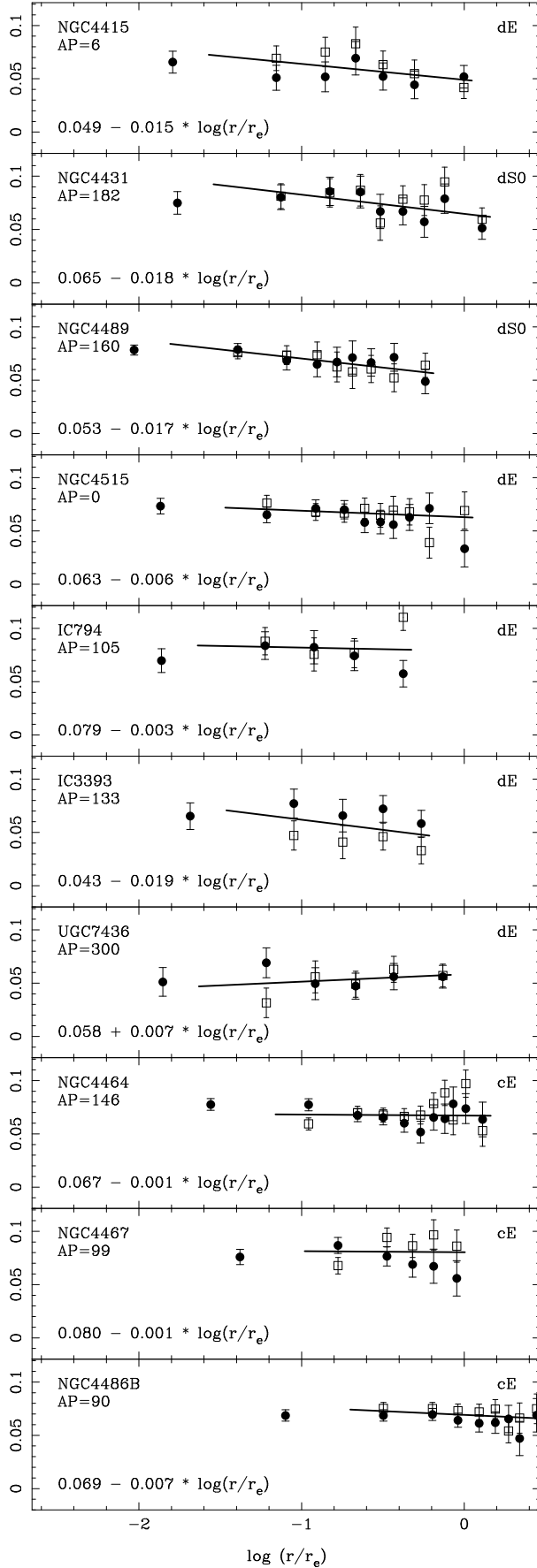


Fe5270

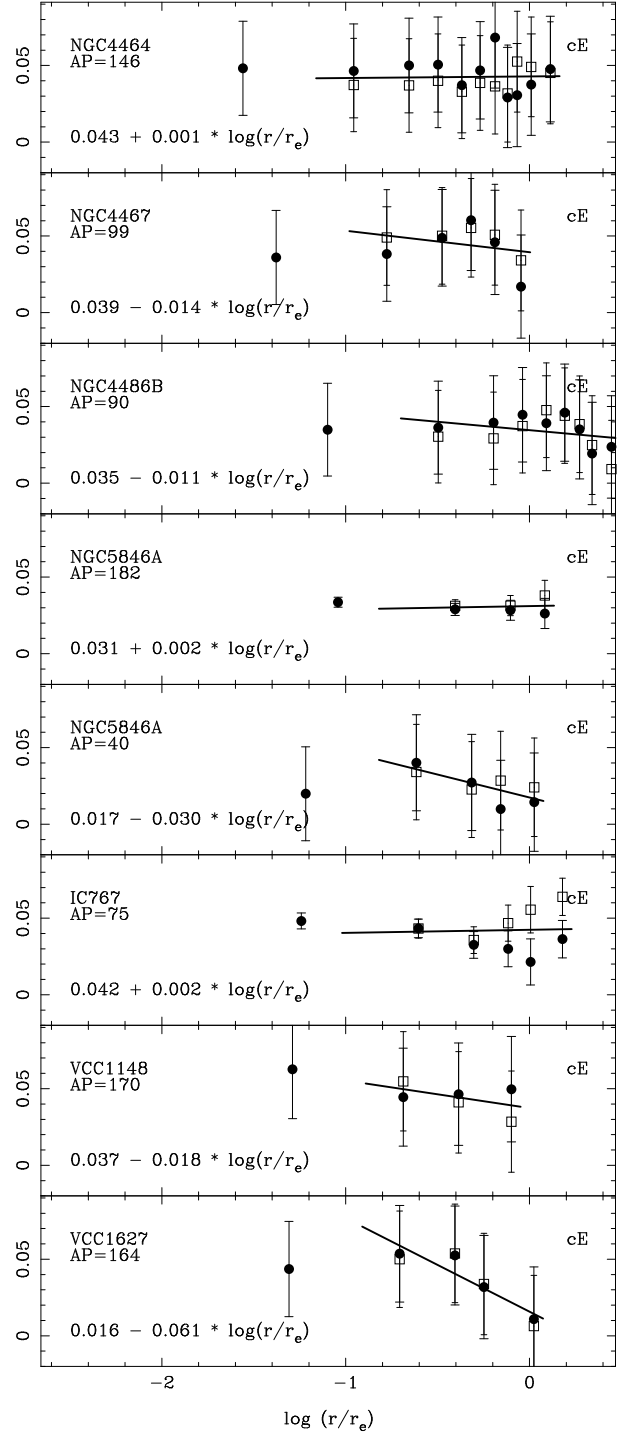
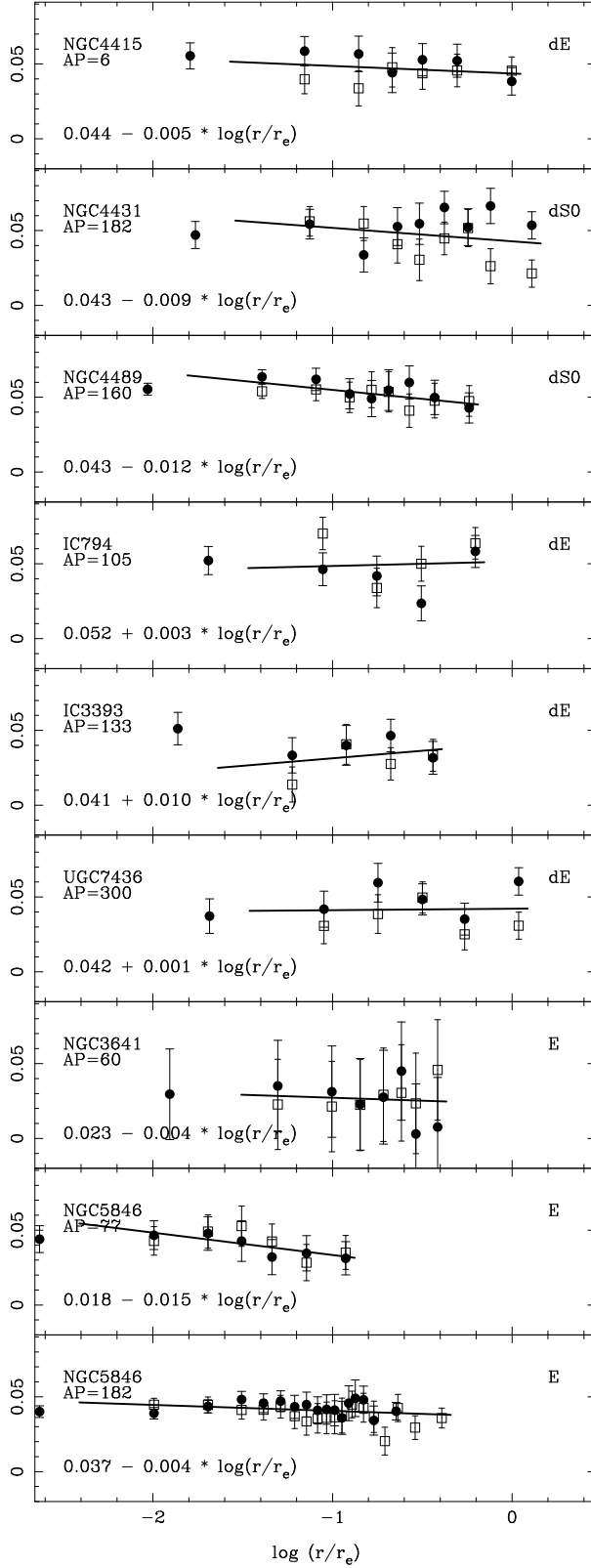




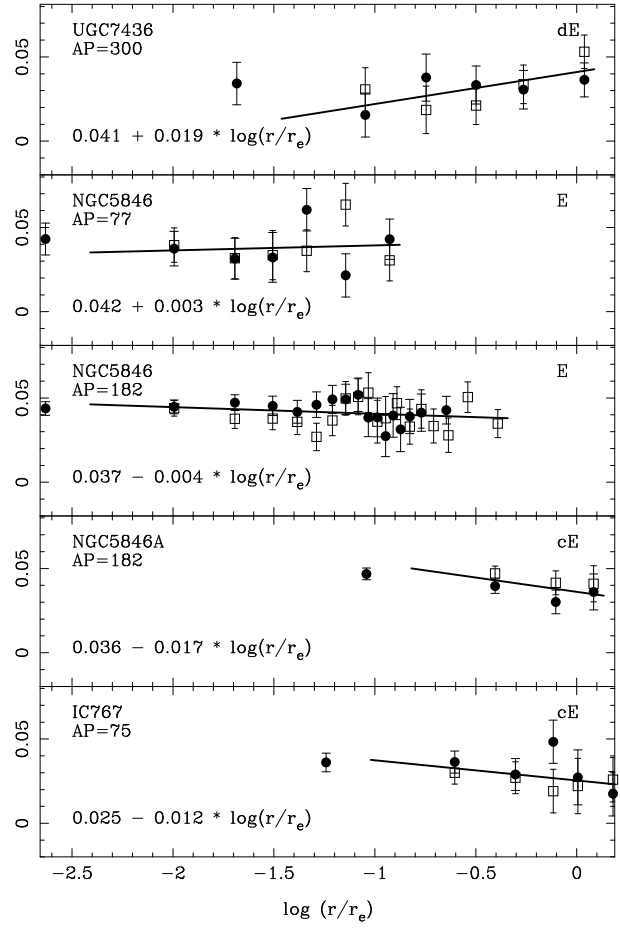
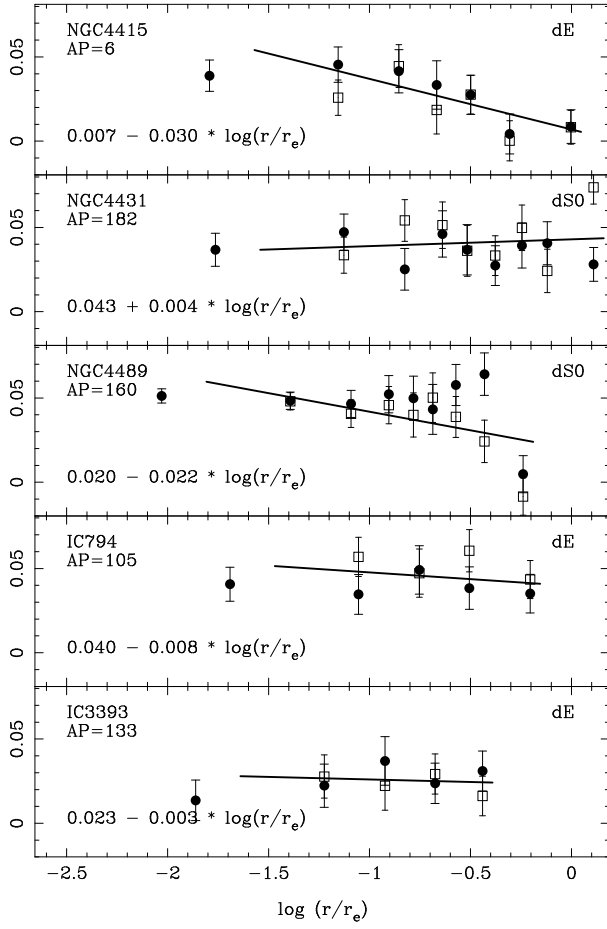
Fe5406



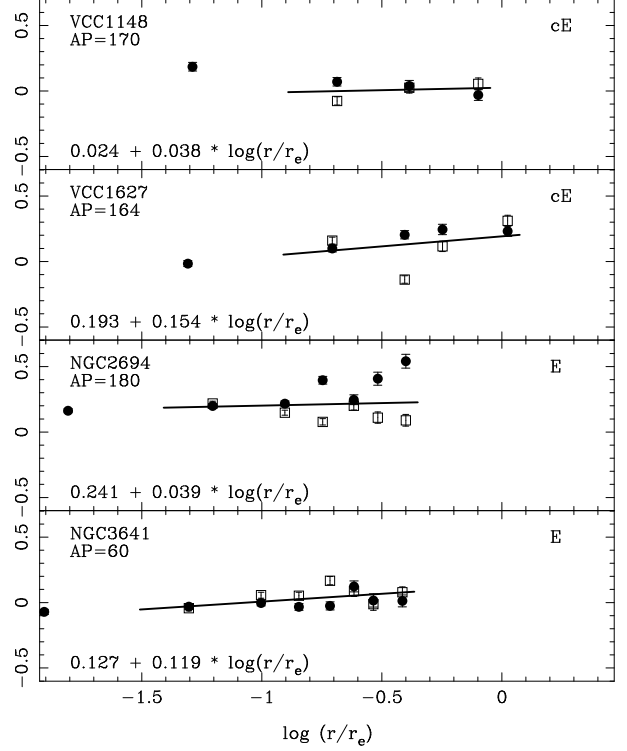
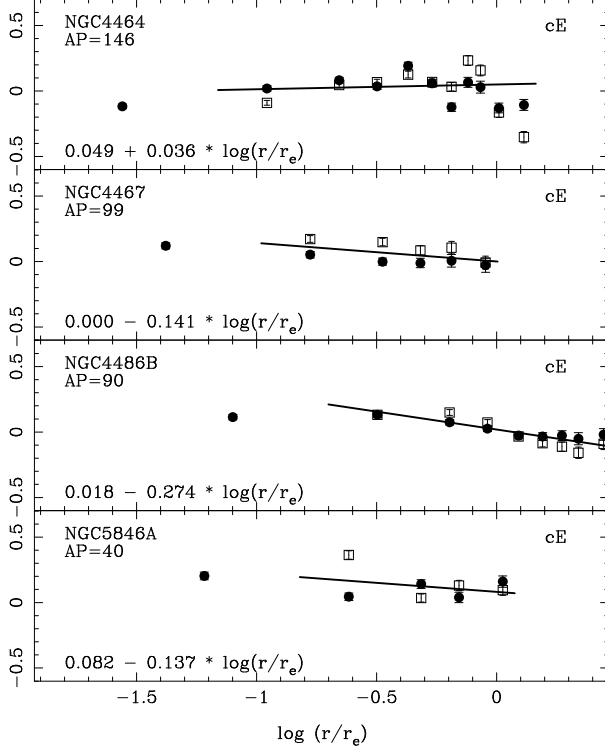
Fe5709



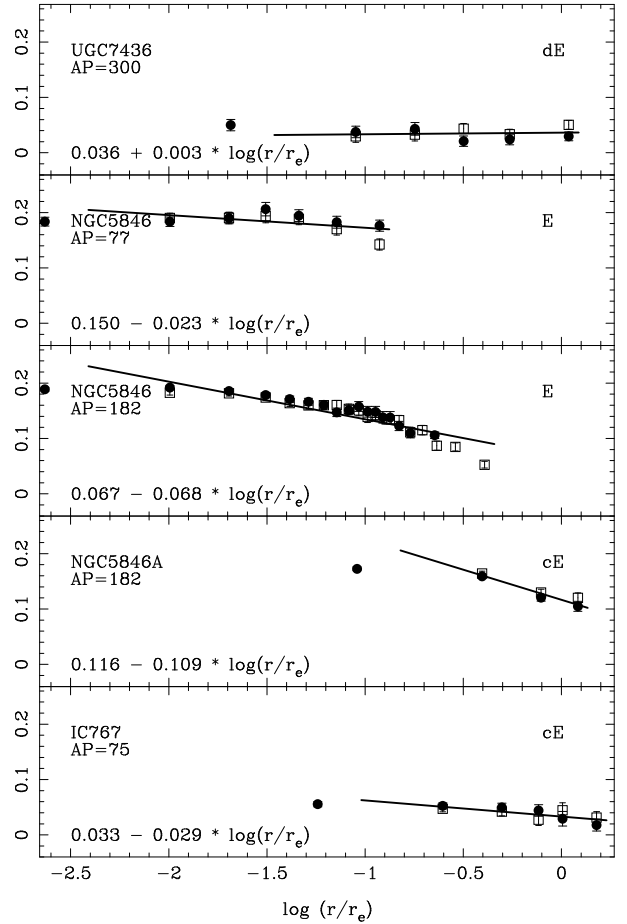
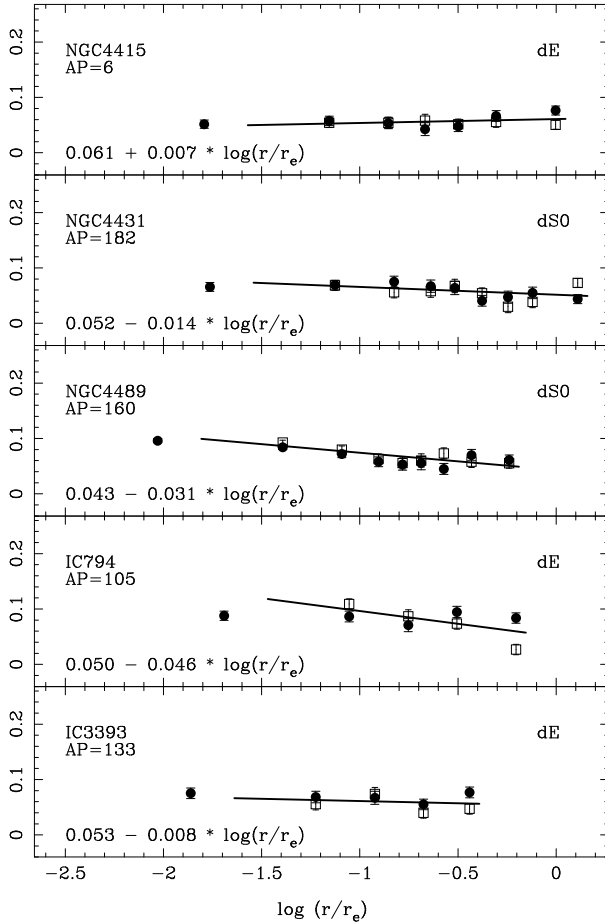
Fe5782



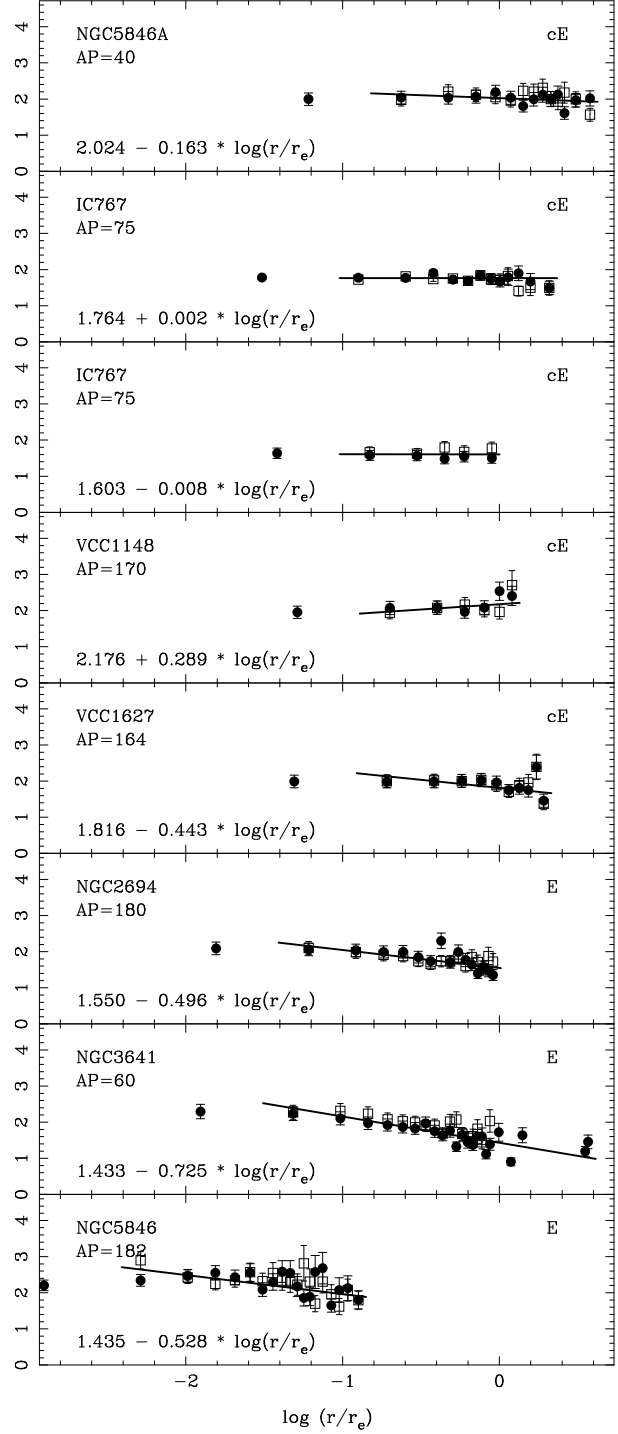
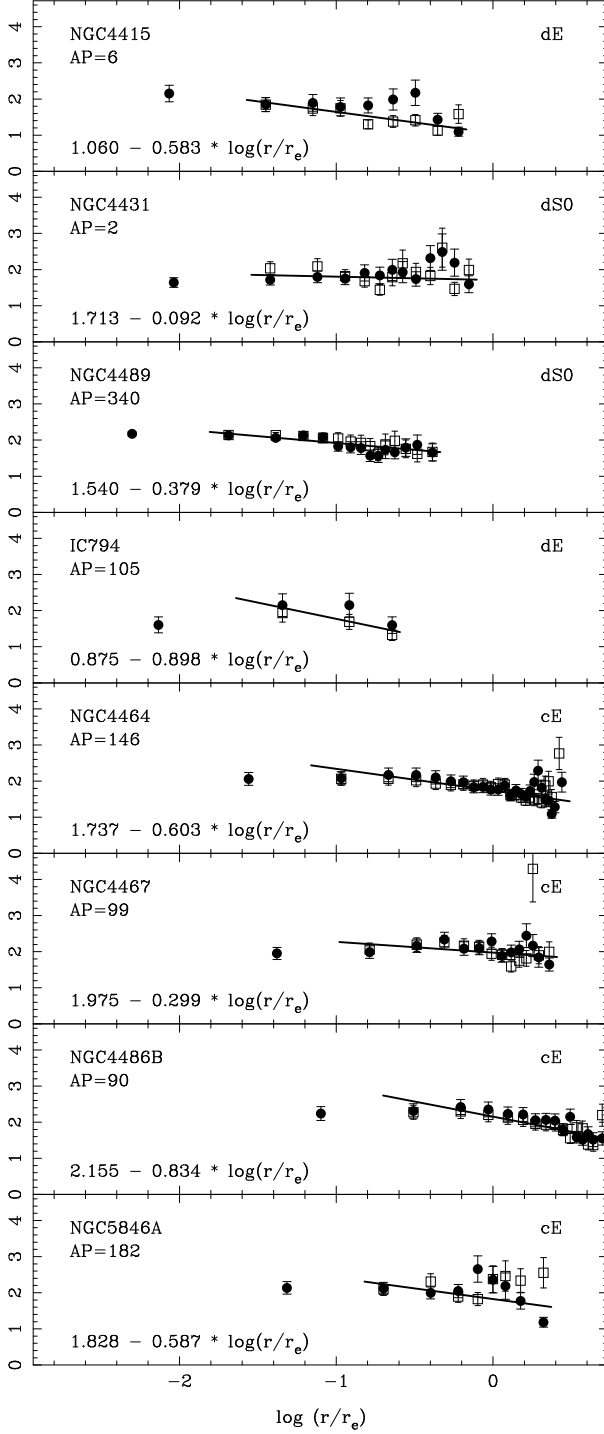
Ca4455



Na5895



D4000



NGC 4415													$r_{\text{ef}} = 18,6''$ AP= 6°	
r	S/N	H β	Fe5015	Mg $_1$	Mg $_2$	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	Na5895	Fe2	Fe6
($''$)	/Å	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.3	26.4	0.076	0.065	0.056	0.166	0.108	0.085	0.070	0.066	0.055	0.039	0.052	0.077	0.073
		0.013	0.010	0.015	0.013	0.011	0.009	0.009	0.010	0.009	0.009	0.008	0.006	0.006
1.3	23.3	0.088	0.076	0.069	0.164	0.107	0.088	0.058	0.051	0.059	0.045	0.058	0.073	0.066
		0.014	0.011	0.015	0.014	0.012	0.010	0.011	0.012	0.010	0.010	0.008	0.007	0.006
-1.3	23.3	0.063	0.084	0.074	0.184	0.107	0.078	0.071	0.069	0.040	0.026	0.054	0.075	0.073
		0.014	0.011	0.015	0.014	0.012	0.010	0.011	0.012	0.010	0.011	0.009	0.007	0.006
2.6	19.4	0.086	0.081	0.069	0.161	0.112	0.076	0.065	0.052	0.057	0.041	0.054	0.071	0.064
		0.017	0.013	0.016	0.015	0.014	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.010	0.009	0.008
-2.6	19.4	0.064	0.078	0.071	0.188	0.128	0.063	0.082	0.075	0.034	0.045	0.054	0.072	0.073
		0.017	0.013	0.016	0.015	0.014	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.010	0.009	0.007
4.0	17.3	0.085	0.083	0.057	0.174	0.110	0.086	0.062	0.069	0.044	0.033	0.043	0.074	0.072
		0.019	0.014	0.016	0.016	0.016	0.013	0.015	0.016	0.013	0.014	0.012	0.010	0.008
-4.0	17.2	0.073	0.072	0.045	0.180	0.128	0.039	0.069	0.083	0.048	0.019	0.058	0.054	0.064
		0.019	0.015	0.016	0.016	0.016	0.013	0.014	0.016	0.013	0.014	0.012	0.010	0.008
5.9	21.3	0.063	0.073	0.059	0.175	0.107	0.071	0.062	0.052	0.053	0.027	0.048	0.067	0.062
		0.016	0.012	0.015	0.014	0.013	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.009	0.008	0.007
-5.9	21.5	0.060	0.061	0.051	0.162	0.092	0.070	0.067	0.063	0.044	0.028	0.052	0.068	0.067
		0.015	0.012	0.015	0.014	0.013	0.011	0.012	0.013	0.011	0.011	0.009	0.008	0.007
9.2	21.0	0.067	0.072	0.073	0.156	0.113	0.066	0.066	0.044	0.052	0.004	0.066	0.066	0.059
		0.016	0.012	0.015	0.014	0.013	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
-9.2	21.1	0.125	0.065	0.061	0.164	0.097	0.050	0.069	0.055	0.046	0.000	0.056	0.059	0.058
		0.016	0.012	0.015	0.014	0.013	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
18.5	25.3	0.065	0.074	0.070	0.144	0.070	0.070	0.066	0.052	0.038	0.009	0.076	0.068	0.063
		0.013	0.010	0.015	0.014	0.011	0.009	0.010	0.011	0.009	0.010	0.008	0.007	0.006
-18.5	25.1	0.088	0.048	0.066	0.187	0.104	0.041	0.070	0.042	0.046	0.008	0.051	0.056	0.051
		0.013	0.010	0.015	0.014	0.011	0.009	0.010	0.010	0.009	0.010	0.008	0.007	0.006

NGC 4431

 $r_{\text{ef}} = 17,4''$ AP= 182°

r	S/N	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	Na5895	Fe2	Fe6
($''$)	/Å	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.3	25.7	0.061	0.076	0.064	0.166	0.099	0.069	0.069	0.075	0.047	0.037	0.066	0.069	0.071
		0.013	0.010	0.015	0.014	0.011	0.009	0.010	0.011	0.009	0.010	0.008	0.007	0.006
1.3	23.5	0.102	0.072	0.071	0.177	0.098	0.061	0.063	0.080	0.054	0.047	0.069	0.062	0.068
		0.014	0.011	0.015	0.014	0.012	0.010	0.011	0.012	0.010	0.011	0.009	0.007	0.006
-1.3	23.5	0.071	0.068	0.058	0.174	0.102	0.073	0.071	0.081	0.056	0.034	0.068	0.072	0.075
		0.014	0.011	0.015	0.014	0.012	0.010	0.011	0.012	0.010	0.011	0.009	0.007	0.006
2.6	20.4	0.099	0.068	0.060	0.168	0.094	0.072	0.062	0.086	0.034	0.025	0.075	0.067	0.073
		0.016	0.012	0.015	0.015	0.014	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
-2.6	20.3	0.096	0.061	0.058	0.183	0.120	0.070	0.075	0.084	0.055	0.054	0.056	0.073	0.077
		0.016	0.012	0.015	0.015	0.014	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
4.0	18.3	0.082	0.068	0.072	0.164	0.097	0.077	0.054	0.085	0.053	0.046	0.067	0.065	0.072
		0.018	0.014	0.016	0.016	0.015	0.013	0.014	0.015	0.013	0.014	0.011	0.009	0.008
-4.0	18.3	0.075	0.058	0.064	0.174	0.105	0.084	0.072	0.087	0.041	0.051	0.058	0.078	0.081
		0.018	0.014	0.016	0.016	0.015	0.013	0.014	0.015	0.013	0.014	0.011	0.009	0.008
5.3	16.8	0.084	0.060	0.075	0.179	0.106	0.070	0.054	0.067	0.055	0.037	0.064	0.062	0.064
		0.020	0.015	0.016	0.016	0.017	0.014	0.015	0.016	0.014	0.015	0.012	0.010	0.009
-5.3	16.8	0.074	0.051	0.074	0.173	0.107	0.076	0.071	0.056	0.030	0.036	0.067	0.073	0.068
		0.020	0.015	0.016	0.016	0.016	0.014	0.015	0.016	0.014	0.015	0.012	0.010	0.009
7.3	21.3	0.054	0.073	0.076	0.199	0.116	0.071	0.088	0.067	0.065	0.027	0.041	0.079	0.075
		0.015	0.012	0.015	0.014	0.013	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
-7.3	21.3	0.075	0.075	0.073	0.190	0.105	0.090	0.064	0.078	0.045	0.033	0.054	0.077	0.077
		0.015	0.012	0.015	0.014	0.013	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
9.9	18.7	0.061	0.060	0.073	0.163	0.124	0.073	0.080	0.057	0.052	0.039	0.047	0.077	0.070
		0.017	0.013	0.016	0.015	0.015	0.012	0.013	0.015	0.012	0.013	0.011	0.009	0.008
-9.9	18.7	0.097	0.092	0.070	0.138	0.100	0.075	0.086	0.078	0.052	0.050	0.030	0.081	0.080
		0.018	0.013	0.016	0.015	0.015	0.013	0.013	0.015	0.012	0.014	0.011	0.009	0.008
13.2	19.6	0.078	0.057	0.072	0.182	0.096	0.078	0.072	0.079	0.066	0.041	0.055	0.075	0.076
		0.017	0.013	0.016	0.015	0.014	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.010	0.009	0.007
-13.2	19.4	0.085	0.063	0.078	0.188	0.113	0.047	0.066	0.095	0.026	0.024	0.039	0.056	0.069
		0.017	0.013	0.016	0.015	0.014	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.010	0.009	0.007
22.4	25.4	0.070	0.052	0.057	0.149	0.072	0.087	0.074	0.051	0.054	0.028	0.044	0.080	0.071
		0.013	0.010	0.015	0.014	0.011	0.009	0.010	0.011	0.009	0.010	0.008	0.007	0.006
-22.4	25.5	0.065	0.096	0.083	0.167	0.096	0.070	0.043	0.060	0.021	0.074	0.073	0.056	0.057
		0.013	0.010	0.015	0.014	0.011	0.009	0.010	0.011	0.009	0.010	0.008	0.007	0.006

NGC 4489												$r_{\text{ef}} = 32,1''$ AP= 160°		
r	S/N	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	Na5895	Fe2	Fe6
($''$)	/Å	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.3	57.9	0.097	0.099	0.078	0.205	0.124	0.096	0.090	0.078	0.055	0.051	0.096	0.093	0.088
		0.006	0.005	0.013	0.011	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003
1.3	48.0	0.095	0.096	0.077	0.204	0.129	0.093	0.090	0.079	0.064	0.048	0.084	0.092	0.087
		0.007	0.006	0.014	0.012	0.006	0.005	0.005	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003
-1.3	47.9	0.097	0.093	0.081	0.202	0.120	0.092	0.085	0.076	0.054	0.048	0.093	0.088	0.084
		0.007	0.006	0.014	0.012	0.006	0.005	0.005	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003
2.6	31.3	0.086	0.078	0.075	0.190	0.124	0.080	0.083	0.068	0.062	0.047	0.072	0.081	0.077
		0.011	0.008	0.014	0.013	0.009	0.007	0.008	0.009	0.007	0.008	0.007	0.005	0.005
-2.6	30.8	0.102	0.084	0.076	0.195	0.119	0.090	0.087	0.074	0.055	0.041	0.080	0.088	0.083
		0.011	0.008	0.014	0.013	0.009	0.008	0.008	0.009	0.008	0.008	0.007	0.006	0.005
4.0	23.1	0.102	0.074	0.065	0.180	0.110	0.087	0.070	0.065	0.052	0.052	0.058	0.078	0.074
		0.014	0.011	0.015	0.014	0.012	0.010	0.011	0.012	0.010	0.011	0.009	0.007	0.006
-4.0	22.8	0.085	0.076	0.078	0.188	0.113	0.083	0.076	0.074	0.050	0.046	0.063	0.080	0.078
		0.014	0.011	0.015	0.014	0.012	0.010	0.011	0.012	0.010	0.011	0.009	0.007	0.006
5.3	19.4	0.102	0.078	0.074	0.181	0.093	0.088	0.060	0.067	0.049	0.050	0.053	0.074	0.071
		0.017	0.013	0.016	0.015	0.014	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.011	0.009	0.007
-5.3	19.2	0.092	0.060	0.073	0.187	0.130	0.079	0.054	0.062	0.055	0.040	0.055	0.067	0.065
		0.017	0.013	0.016	0.015	0.014	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.011	0.009	0.008
6.6	17.3	0.112	0.082	0.086	0.189	0.094	0.071	0.066	0.071	0.055	0.043	0.055	0.068	0.069
		0.019	0.015	0.016	0.016	0.016	0.013	0.014	0.016	0.014	0.015	0.012	0.010	0.008
-6.6	17.2	0.109	0.074	0.067	0.179	0.121	0.092	0.055	0.058	0.054	0.050	0.060	0.073	0.068
		0.019	0.015	0.016	0.016	0.016	0.014	0.015	0.016	0.013	0.015	0.012	0.010	0.008
8.6	21.0	0.090	0.077	0.093	0.186	0.114	0.085	0.066	0.067	0.0q60	0.058	0.045	0.075	0.072
		0.016	0.012	0.015	0.014	0.013	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
-8.6	20.9	0.102	0.072	0.081	0.176	0.092	0.064	0.074	0.061	0.041	0.039	0.073	0.069	0.066
		0.016	0.012	0.015	0.014	0.013	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
11.9	20.4	0.070	0.048	0.082	0.187	0.100	0.082	0.069	0.072	0.050	0.064	0.070	0.075	0.074
		0.017	0.013	0.015	0.015	0.014	0.011	0.012	0.013	0.011	0.013	0.010	0.008	0.007
-11.9	20.3	0.121	0.045	0.085	0.174	0.080	0.068	0.054	0.052	0.048	0.024	0.058	0.061	0.058
		0.016	0.013	0.016	0.015	0.014	0.011	0.012	0.013	0.012	0.013	0.010	0.008	0.007
18.5	23.3	0.036	0.048	0.096	0.175	0.096	0.064	0.052	0.049	0.043	0.005	0.061	0.058	0.055
		0.014	0.011	0.015	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.010	0.011	0.009	0.007	0.006
-18.5	23.1	0.047	0.055	0.104	0.170	0.068	0.076	0.088	0.064	0.047	-0.008	0.055	0.082	0.076
		0.015	0.011	0.015	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.010	0.011	0.009	0.007	0.006

NGC 4515							$r_{\text{ef}} = 14,7''$ AP= 0°				
r	S/N	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe2	Fe6
($''$)	/Å	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.2	80.6	0.082	0.044	0.060	0.194	0.093	0.054	0.033	0.069	0.043	0.052
		0.017	0.014	0.016	0.012	0.015	0.013	0.015	0.017	0.010	0.009
0.9	75.8	0.062	0.060	0.072	0.205	0.103	0.065	0.052	0.039	0.058	0.052
		0.014	0.012	0.015	0.012	0.012	0.011	0.012	0.014	0.008	0.007
-0.9	75.3	0.075	0.066	0.075	0.207	0.112	0.077	0.073	0.068	0.075	0.073
		0.011	0.011	0.015	0.012	0.010	0.009	0.010	0.012	0.006	0.006
1.8	63.9	0.088	0.073	0.085	0.215	0.104	0.055	0.067	0.069	0.061	0.064
		0.012	0.011	0.016	0.012	0.011	0.009	0.010	0.013	0.007	0.006
-1.8	63.6	0.080	0.071	0.093	0.217	0.112	0.069	0.061	0.065	0.065	0.065
		0.009	0.010	0.016	0.012	0.009	0.007	0.008	0.011	0.006	0.005
2.7	51.3	0.070	0.070	0.092	0.215	0.114	0.074	0.075	0.071	0.074	0.073
		0.008	0.009	0.015	0.012	0.007	0.006	0.007	0.010	0.004	0.004
-2.7	51.2	0.084	0.077	0.103	0.219	0.116	0.078	0.071	0.067	0.074	0.072
		0.006	0.008	0.015	0.012	0.005	0.005	0.005	0.009	0.004	0.004
3.6	40.8	0.068	0.066	0.086	0.219	0.127	0.080	0.076	0.068	0.078	0.074
		0.006	0.008	0.015	0.012	0.004	0.004	0.004	0.008	0.003	0.003
-3.6	40.6	0.068	0.073	0.103	0.221	0.131	0.084	0.075	0.076	0.079	0.078
		0.005	0.007	0.015	0.012	0.004	0.003	0.004	0.007	0.002	0.003
4.5	32.7	0.074	0.067	0.082	0.212	0.138	0.088	0.074	0.073	0.081	0.078
		0.005	0.007	0.016	0.013	0.003	0.003	0.003	0.007	0.002	0.003
-4.5	32.5	0.078	0.070	0.100	0.209	0.131	0.089	0.076	0.065	0.082	0.076
		0.005	0.007	0.016	0.012	0.004	0.003	0.003	0.007	0.002	0.003
5.4	26.5	0.085	0.067	0.067	0.182	0.126	0.085	0.077	0.071	0.081	0.078
		0.006	0.008	0.016	0.013	0.004	0.004	0.004	0.008	0.003	0.003
-5.4	26.3	0.073	0.065	0.081	0.201	0.123	0.083	0.079	0.070	0.081	0.077
		0.006	0.008	0.016	0.013	0.005	0.005	0.005	0.009	0.004	0.004
6.8	28.4	0.078	0.064	0.055	0.171	0.123	0.078	0.062	0.058	0.070	0.066
		0.008	0.009	0.016	0.013	0.007	0.006	0.007	0.010	0.004	0.004
-6.8	28.1	0.077	0.070	0.067	0.176	0.120	0.068	0.061	0.058	0.064	0.062
		0.010	0.010	0.016	0.013	0.009	0.007	0.008	0.011	0.006	0.005

9.0	22.9	0.076	0.067	0.039	0.150	0.102	0.072	0.058	0.056	0.065	0.062
		0.012	0.011	0.016	0.014	0.010	0.009	0.010	0.013	0.007	0.006
-9.0	22.5	0.089	0.052	0.072	0.164	0.100	0.066	0.061	0.063	0.063	0.063
		0.011	0.010	0.016	0.014	0.010	0.008	0.009	0.012	0.006	0.006
14.8	18.5	0.097	0.053	0.015	0.128	0.089	0.056	0.057	0.071	0.057	0.062
		0.014	0.012	0.017	0.015	0.012	0.010	0.012	0.014	0.008	0.007
-14.8	18.0	0.065	0.066	0.042	0.134	0.081	0.028	0.062	0.033	0.045	0.041
		0.017	0.014	0.017	0.015	0.015	0.013	0.015	0.017	0.010	0.009

IC 794												$r_{\text{ef}} = 21,8''$ AP= 105°		
r	S/N	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	Na5895	Fe2	Fe6
($''$)	/Å	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.3	24.4	0.075	0.076	0.071	0.197	0.113	0.086	0.094	0.070	0.052	0.041	0.088	0.090	0.083
		0.014	0.010	0.013	0.014	0.011	0.010	0.010	0.011	0.009	0.010	0.008	0.007	0.006
1.3	20.8	0.061	0.073	0.070	0.198	0.104	0.092	0.092	0.084	0.046	0.035	0.086	0.092	0.089
		0.016	0.012	0.014	0.014	0.013	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
-1.3	21.1	0.116	0.088	0.078	0.212	0.128	0.080	0.079	0.088	0.070	0.057	0.109	0.080	0.082
		0.016	0.012	0.014	0.014	0.013	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
2.6	17.2	0.046	0.085	0.072	0.205	0.105	0.093	0.085	0.082	0.042	0.049	0.071	0.089	0.087
		0.019	0.015	0.015	0.016	0.016	0.013	0.014	0.016	0.013	0.014	0.012	0.010	0.008
-2.6	17.3	0.115	0.081	0.081	0.184	0.084	0.065	0.094	0.076	0.034	0.047	0.087	0.079	0.078
		0.019	0.015	0.015	0.016	0.016	0.013	0.014	0.016	0.013	0.014	0.012	0.010	0.008
4.6	19.7	0.070	0.077	0.073	0.198	0.119	0.099	0.082	0.074	0.024	0.038	0.095	0.090	0.085
		0.017	0.013	0.014	0.015	0.014	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.010	0.009	0.007
-4.6	19.7	0.093	0.076	0.072	0.197	0.114	0.081	0.103	0.077	0.050	0.061	0.074	0.092	0.087
		0.017	0.013	0.014	0.015	0.014	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.010	0.009	0.007
9.2	21.8	0.120	0.063	0.080	0.210	0.105	0.080	0.066	0.058	0.058	0.035	0.084	0.073	0.068
		0.015	0.012	0.014	0.014	0.013	0.011	0.012	0.012	0.011	0.011	0.009	0.008	0.007
-9.2	21.8	0.087	0.069	0.067	0.196	0.132	0.076	0.059	0.110	0.064	0.043	0.027	0.067	0.082
		0.015	0.011	0.014	0.014	0.013	0.011	0.011	0.012	0.011	0.011	0.009	0.008	0.007

IC 3393		$r_{\text{ef}} = 14,5''$ AP= 133�												
r	S/N	Há	Fe5015	Mg�	Mg�	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	Na5895	Fe2	Fe6
(�)	/�	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.3	22.0	0.084	0.070	0.049	0.124	0.050	0.078	0.066	0.065	0.051	0.014	0.075	0.072	0.070
		0.015	0.012	0.016	0.014	0.013	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
1.3	20.2	0.088	0.073	0.047	0.132	0.068	0.078	0.055	0.077	0.033	0.022	0.068	0.067	0.070
		0.017	0.012	0.017	0.015	0.014	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.010	0.009	0.007
-1.3	20.1	0.091	0.072	0.054	0.127	0.076	0.086	0.064	0.047	0.014	0.028	0.055	0.075	0.065
		0.017	0.012	0.017	0.015	0.014	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.010	0.009	0.007
2.6	18.0	0.088	0.067	0.057	0.130	0.051	0.076	0.057	0.066	0.040	0.037	0.067	0.066	0.066
		0.019	0.014	0.017	0.016	0.016	0.013	0.014	0.015	0.013	0.014	0.012	0.010	0.008
-2.6	17.8	0.064	0.063	0.044	0.125	0.066	0.073	0.063	0.041	0.041	0.022	0.074	0.068	0.059
		0.018	0.014	0.017	0.016	0.016	0.013	0.014	0.016	0.013	0.015	0.012	0.010	0.008
4.6	21.9	0.079	0.068	0.045	0.125	0.070	0.047	0.050	0.072	0.047	0.024	0.055	0.049	0.056
		0.015	0.012	0.016	0.014	0.013	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.009	0.008	0.007
-4.6	21.7	0.080	0.051	0.027	0.116	0.076	0.064	0.063	0.046	0.028	0.029	0.040	0.063	0.058
		0.015	0.012	0.016	0.014	0.013	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
7.9	21.6	0.086	0.080	0.032	0.119	0.080	0.068	0.062	0.058	0.032	0.031	0.077	0.065	0.063
		0.015	0.012	0.016	0.014	0.013	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
-7.9	22.1	0.119	0.052	0.034	0.089	0.038	0.036	0.075	0.033	0.033	0.016	0.047	0.056	0.048
		0.015	0.012	0.016	0.014	0.012	0.011	0.012	0.012	0.011	0.012	0.009	0.008	0.007

UGC 7436												$r_{\text{ef}} = 21,4''$ AP= 300°		
r	S/N	H β	Fe5015	Mg $_1$	Mg $_2$	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	Na5895	Fe2	Fe6
($''$)	/ \AA	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.3	20.2	0.071	0.068	0.043	0.149	0.093	0.062	0.060	0.051	0.037	0.034	0.050	0.061	0.058
		0.016	0.012	0.015	0.015	0.014	0.012	0.012	0.013	0.012	0.013	0.010	0.008	0.007
1.3	19.5	0.088	0.076	0.033	0.142	0.100	0.074	0.077	0.069	0.042	0.016	0.038	0.076	0.073
		0.017	0.013	0.016	0.015	0.014	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.011	0.009	0.007
-1.3	19.5	0.096	0.060	0.050	0.146	0.103	0.061	0.058	0.032	0.031	0.031	0.030	0.059	0.050
		0.017	0.013	0.016	0.015	0.014	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.011	0.009	0.008
2.6	18.1	0.088	0.066	0.048	0.154	0.093	0.073	0.068	0.050	0.060	0.038	0.043	0.071	0.064
		0.018	0.014	0.016	0.016	0.015	0.013	0.014	0.015	0.013	0.014	0.011	0.010	0.008
-2.6	18.1	0.092	0.051	0.044	0.141	0.092	0.065	0.070	0.056	0.039	0.019	0.033	0.067	0.063
		0.018	0.014	0.016	0.016	0.015	0.013	0.014	0.015	0.013	0.014	0.011	0.010	0.008
4.6	22.4	0.091	0.056	0.051	0.141	0.079	0.062	0.039	0.047	0.048	0.033	0.021	0.050	0.049
		0.015	0.011	0.015	0.014	0.012	0.010	0.011	0.012	0.010	0.011	0.009	0.008	0.007
-4.6	22.5	0.092	0.040	0.060	0.135	0.057	0.062	0.061	0.049	0.050	0.021	0.044	0.061	0.057
		0.015	0.011	0.015	0.014	0.012	0.010	0.011	0.012	0.010	0.011	0.009	0.008	0.007
7.9	22.2	0.099	0.040	0.066	0.104	0.049	0.066	0.046	0.056	0.035	0.031	0.024	0.056	0.056
		0.015	0.011	0.015	0.014	0.012	0.011	0.012	0.012	0.011	0.011	0.009	0.008	0.007
-7.9	22.3	0.064	0.042	0.048	0.138	0.063	0.061	0.038	0.063	0.025	0.034	0.033	0.049	0.054
		0.015	0.011	0.015	0.014	0.012	0.011	0.011	0.012	0.010	0.011	0.009	0.008	0.007
15.8	25.7	0.095	0.068	0.060	0.115	0.071	0.063	0.075	0.056	0.060	0.036	0.030	0.069	0.065
		0.013	0.010	0.015	0.014	0.011	0.009	0.010	0.011	0.009	0.010	0.008	0.007	0.006
-15.8	25.7	0.083	0.048	0.059	0.138	0.075	0.065	0.055	0.057	0.031	0.053	0.050	0.060	0.059
		0.012	0.010	0.015	0.014	0.011	0.009	0.010	0.011	0.009	0.010	0.008	0.007	0.006

NGC 4464		$r_{\text{ef}} = 7,24''$ AP= 146�													
r	S/N	Ca4455	Fe4531	Fe4668	H�	Fe5015	Mg�	Mg�	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5782	Fe2	Fe6
(")	/�	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.2	95.0	-0.117	0.341	0.144	0.080	0.079	0.091	0.219	0.152	0.086	0.075	0.078	0.048	0.081	0.080
		0.018	0.038	0.014	0.005	0.004	0.021	0.023	0.004	0.005	0.006	0.006	0.031	0.004	0.003
0.8	89.3	0.019	0.367	0.141	0.077	0.082	0.092	0.242	0.153	0.087	0.077	0.077	0.046	0.082	0.080
		0.020	0.039	0.014	0.005	0.004	0.021	0.023	0.004	0.005	0.006	0.006	0.031	0.004	0.003
-0.8	84.8	-0.091	0.278	0.154	0.064	0.082	0.092	0.215	0.153	0.085	0.065	0.059	0.037	0.075	0.070
		0.018	0.036	0.014	0.005	0.004	0.021	0.023	0.005	0.005	0.006	0.006	0.030	0.004	0.003
1.6	69.5	0.082	0.353	0.150	0.064	0.078	0.101	0.245	0.152	0.083	0.072	0.068	0.050	0.077	0.074
		0.021	0.038	0.014	0.006	0.005	0.021	0.023	0.005	0.005	0.006	0.006	0.031	0.004	0.003
-1.6	71.1	0.045	0.293	0.148	0.073	0.082	0.096	0.233	0.150	0.096	0.073	0.070	0.037	0.085	0.080
		0.021	0.037	0.014	0.006	0.005	0.021	0.023	0.005	0.005	0.006	0.006	0.031	0.004	0.003
2.3	50.2	0.035	0.313	0.155	0.078	0.074	0.094	0.240	0.151	0.079	0.076	0.066	0.051	0.078	0.074
		0.023	0.038	0.015	0.007	0.006	0.021	0.023	0.006	0.006	0.007	0.007	0.031	0.005	0.004
-2.3	58.1	0.067	0.317	0.149	0.071	0.072	0.107	0.282	0.170	0.092	0.081	0.068	0.040	0.086	0.080
		0.022	0.038	0.014	0.007	0.005	0.021	0.023	0.006	0.006	0.007	0.007	0.031	0.004	0.004
3.1	37.7	0.192	0.323	0.141	0.106	0.075	0.076	0.241	0.147	0.086	0.074	0.060	0.037	0.080	0.073
		0.027	0.039	0.015	0.009	0.007	0.021	0.024	0.008	0.008	0.008	0.009	0.031	0.006	0.005
-3.1	45.9	0.125	0.238	0.155	0.067	0.066	0.099	0.298	0.156	0.097	0.080	0.066	0.033	0.088	0.081
		0.026	0.038	0.015	0.008	0.006	0.021	0.023	0.007	0.007	0.007	0.007	0.031	0.005	0.004
3.9	30.0	0.058	0.317	0.151	0.092	0.072	0.081	0.215	0.140	0.080	0.069	0.052	0.047	0.075	0.067
		0.029	0.040	0.016	0.011	0.009	0.022	0.024	0.010	0.009	0.010	0.010	0.032	0.007	0.006
-3.9	36.0	0.069	0.306	0.158	0.076	0.066	0.095	0.287	0.127	0.097	0.064	0.068	0.039	0.080	0.076
		0.028	0.040	0.016	0.010	0.007	0.022	0.024	0.009	0.008	0.008	0.008	0.031	0.006	0.005
4.7	24.8	-0.124	0.288	0.138	0.089	0.077	0.078	0.186	0.119	0.090	0.090	0.065	0.068	0.090	0.082
		0.031	0.042	0.017	0.013	0.010	0.022	0.024	0.012	0.010	0.011	0.012	0.033	0.008	0.006
-4.7	28.8	0.032	0.282	0.141	0.095	0.069	0.101	0.265	0.120	0.094	0.040	0.079	0.036	0.067	0.071
		0.032	0.041	0.017	0.012	0.009	0.022	0.024	0.010	0.009	0.010	0.010	0.031	0.007	0.006

5.5	20.8	0.065	0.339	0.129	0.073	0.061	0.079	0.204	0.127	0.096	0.065	0.064	0.029	0.081	0.075
		0.038	0.045	0.019	0.016	0.012	0.022	0.025	0.014	0.012	0.013	0.014	0.033	0.009	0.007
-5.5	23.7	0.232	0.366	0.141	0.090	0.065	0.091	0.268	0.143	0.089	0.071	0.089	0.032	0.080	0.083
		0.038	0.045	0.018	0.014	0.011	0.022	0.025	0.012	0.011	0.011	0.012	0.032	0.008	0.007
6.2	17.6	0.029	0.368	0.112	0.080	0.062	0.077	0.209	0.113	0.089	0.057	0.078	0.031	0.073	0.075
		0.045	0.049	0.020	0.019	0.015	0.023	0.025	0.016	0.014	0.015	0.016	0.034	0.010	0.009
-6.2	19.9	0.157	0.352	0.145	0.077	0.069	0.084	0.246	0.145	0.108	0.062	0.063	0.053	0.085	0.078
		0.042	0.047	0.020	0.017	0.013	0.022	0.025	0.015	0.013	0.013	0.014	0.033	0.009	0.008
7.4	20.1	-0.130	0.440	0.140	0.087	0.075	0.078	0.203	0.136	0.082	0.073	0.074	0.037	0.077	0.076
		0.037	0.048	0.019	0.017	0.013	0.022	0.025	0.014	0.012	0.013	0.014	0.033	0.009	0.008
-7.4	21.9	-0.164	0.275	0.132	0.048	0.091	0.084	0.242	0.135	0.115	0.069	0.097	0.049	0.092	0.093
		0.038	0.045	0.019	0.015	0.012	0.022	0.025	0.013	0.011	0.012	0.013	0.033	0.008	0.007
9.4	16.8	-0.107	0.475	0.134	0.103	0.048	0.071	0.182	0.128	0.080	0.073	0.063	0.048	0.077	0.072
		0.042	0.053	0.021	0.020	0.016	0.023	0.026	0.017	0.014	0.015	0.016	0.034	0.010	0.009
-9.4	18.6	-0.353	0.300	0.141	0.068	0.073	0.083	0.236	0.129	0.073	0.045	0.053	0.045	0.059	0.057
		0.043	0.049	0.021	0.018	0.014	0.023	0.025	0.016	0.013	0.014	0.015	0.033	0.010	0.008

NGC 4467		$r_{\text{ef}} = 4,78''$ AP= 99�													
r	S/N	Ca4455	Fe4531	Fe4668	H�	Fe5015	Mg�	Mg�	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe2	Fe6
(")	/�	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.2	51.2	0.120	0.269	0.162	0.067	0.083	0.107	0.232	0.150	0.090	0.082	0.076	0.036	0.086	0.082
		0.024	0.036	0.014	0.007	0.006	0.022	0.023	0.006	0.006	0.007	0.007	0.031	0.005	0.004
0.8	46.5	0.052	0.260	0.158	0.070	0.081	0.117	0.255	0.150	0.092	0.085	0.087	0.038	0.088	0.088
		0.024	0.036	0.014	0.008	0.006	0.022	0.023	0.007	0.007	0.007	0.007	0.031	0.005	0.004
-0.8	45.2	0.172	0.268	0.162	0.052	0.079	0.115	0.251	0.151	0.098	0.082	0.068	0.049	0.090	0.083
		0.026	0.037	0.014	0.008	0.006	0.022	0.023	0.007	0.007	0.007	0.008	0.031	0.005	0.004
1.6	34.2	-0.001	0.267	0.152	0.074	0.070	0.123	0.289	0.173	0.101	0.103	0.077	0.049	0.102	0.093
		0.028	0.038	0.015	0.010	0.008	0.023	0.024	0.009	0.008	0.009	0.009	0.032	0.006	0.005
-1.6	35.2	0.148	0.274	0.159	0.072	0.073	0.123	0.295	0.167	0.101	0.082	0.094	0.050	0.091	0.092
		0.029	0.038	0.015	0.010	0.007	0.022	0.024	0.009	0.008	0.008	0.009	0.032	0.006	0.005
2.3	23.8	-0.012	0.294	0.148	0.068	0.080	0.118	0.282	0.172	0.092	0.083	0.069	0.060	0.087	0.081
		0.036	0.041	0.017	0.014	0.011	0.023	0.025	0.012	0.011	0.011	0.012	0.033	0.008	0.007
-2.3	25.9	0.085	0.300	0.150	0.068	0.070	0.137	0.325	0.180	0.102	0.085	0.086	0.055	0.094	0.091
		0.036	0.041	0.017	0.013	0.010	0.023	0.024	0.012	0.010	0.010	0.011	0.032	0.007	0.006
3.1	17.2	0.006	0.357	0.137	0.062	0.093	0.116	0.291	0.192	0.087	0.074	0.067	0.046	0.080	0.076
		0.049	0.047	0.020	0.019	0.014	0.024	0.027	0.017	0.014	0.015	0.016	0.034	0.010	0.009
-3.1	18.8	0.106	0.344	0.154	0.035	0.087	0.138	0.327	0.155	0.103	0.084	0.097	0.051	0.093	0.094
		0.047	0.046	0.020	0.018	0.013	0.024	0.025	0.016	0.013	0.014	0.014	0.033	0.009	0.008
4.3	16.4	-0.029	0.363	0.152	0.068	0.043	0.100	0.259	0.170	0.076	0.063	0.056	0.017	0.069	0.065
		0.053	0.050	0.021	0.021	0.015	0.024	0.027	0.018	0.015	0.016	0.017	0.034	0.011	0.009
-4.3	17.5	-0.008	0.317	0.153	0.072	0.061	0.138	0.298	0.176	0.099	0.070	0.086	0.034	0.084	0.085
		0.049	0.047	0.021	0.020	0.014	0.023	0.026	0.017	0.014	0.014	0.015	0.033	0.010	0.008

NGC 4486B															$r_{\text{ef}} = 2,51''$ AP= 90°	
r	S/N	Ca4455	Fe4531	Fe4668	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe2	Fe6	
($''$)	/Å	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	
0.2	109.6	0.114	0.238	0.169	0.066	0.082	0.143	0.282	0.180	0.093	0.069	0.069	0.035	0.081	0.077	
		0.021	0.034	0.013	0.005	0.003	0.022	0.024	0.004	0.005	0.005	0.005	0.030	0.004	0.003	
0.8	102.2	0.132	0.219	0.177	0.070	0.076	0.152	0.313	0.185	0.092	0.066	0.069	0.036	0.079	0.076	
		0.021	0.034	0.013	0.005	0.004	0.022	0.024	0.004	0.005	0.005	0.005	0.030	0.004	0.003	
-0.8	98.5	0.132	0.242	0.171	0.068	0.080	0.145	0.293	0.178	0.095	0.074	0.075	0.030	0.084	0.081	
		0.021	0.034	0.013	0.005	0.004	0.022	0.023	0.004	0.005	0.006	0.005	0.030	0.004	0.003	
1.6	78.4	0.075	0.204	0.169	0.068	0.066	0.159	0.345	0.184	0.091	0.071	0.070	0.040	0.081	0.077	
		0.021	0.034	0.013	0.006	0.004	0.022	0.024	0.005	0.005	0.006	0.006	0.030	0.004	0.003	
-1.6	80.5	0.149	0.236	0.167	0.064	0.075	0.165	0.345	0.176	0.100	0.076	0.075	0.029	0.088	0.084	
		0.022	0.035	0.013	0.005	0.004	0.022	0.023	0.005	0.005	0.006	0.006	0.030	0.004	0.003	
2.3	55.1	0.026	0.216	0.162	0.071	0.055	0.157	0.330	0.171	0.089	0.077	0.064	0.045	0.083	0.077	
		0.022	0.035	0.014	0.007	0.005	0.022	0.024	0.006	0.006	0.007	0.007	0.031	0.004	0.004	
-2.3	61.3	0.073	0.231	0.163	0.058	0.067	0.177	0.375	0.173	0.098	0.069	0.073	0.037	0.083	0.080	
		0.023	0.035	0.014	0.006	0.005	0.022	0.023	0.006	0.006	0.006	0.006	0.031	0.004	0.004	
3.1	39.6	-0.026	0.236	0.165	0.057	0.067	0.142	0.307	0.160	0.086	0.069	0.061	0.039	0.078	0.072	
		0.025	0.036	0.015	0.009	0.007	0.022	0.025	0.008	0.007	0.008	0.008	0.031	0.005	0.004	
-3.1	45.1	-0.034	0.193	0.169	0.063	0.055	0.175	0.374	0.164	0.101	0.066	0.072	0.048	0.083	0.080	
		0.024	0.036	0.015	0.008	0.006	0.022	0.024	0.007	0.007	0.007	0.007	0.031	0.005	0.004	
3.9	29.3	-0.035	0.249	0.149	0.058	0.059	0.141	0.300	0.153	0.087	0.083	0.062	0.046	0.085	0.077	
		0.030	0.038	0.016	0.012	0.009	0.023	0.025	0.010	0.009	0.010	0.010	0.032	0.007	0.006	
-3.9	33.3	-0.085	0.165	0.149	0.056	0.062	0.160	0.361	0.166	0.096	0.059	0.075	0.044	0.077	0.076	
		0.029	0.037	0.016	0.010	0.008	0.023	0.025	0.009	0.008	0.009	0.009	0.031	0.006	0.005	
4.7	22.2	-0.027	0.282	0.139	0.057	0.043	0.125	0.277	0.145	0.096	0.083	0.065	0.035	0.090	0.081	
		0.037	0.041	0.018	0.015	0.011	0.023	0.026	0.013	0.011	0.012	0.013	0.032	0.008	0.007	
-4.7	24.7	-0.112	0.187	0.156	0.061	0.053	0.139	0.332	0.156	0.094	0.072	0.054	0.038	0.083	0.073	
		0.035	0.040	0.017	0.014	0.010	0.023	0.025	0.012	0.010	0.011	0.011	0.032	0.008	0.006	
5.5	16.8	-0.051	0.219	0.122	0.074	0.058	0.117	0.267	0.131	0.071	0.069	0.047	0.019	0.070	0.062	
		0.046	0.047	0.021	0.020	0.015	0.024	0.027	0.017	0.014	0.015	0.016	0.033	0.010	0.009	
-5.5	18.8	-0.158	0.174	0.149	0.067	0.067	0.140	0.330	0.150	0.083	0.053	0.066	0.025	0.068	0.068	
		0.043	0.045	0.020	0.018	0.013	0.024	0.026	0.016	0.013	0.014	0.014	0.032	0.009	0.008	
7.0	17.2	-0.019	0.330	0.145	0.060	0.031	0.128	0.268	0.155	0.062	0.059	0.069	0.024	0.061	0.063	
		0.045	0.047	0.020	0.019	0.015	0.024	0.027	0.017	0.014	0.015	0.016	0.033	0.010	0.009	
-7.0	19.1	-0.090	0.203	0.160	0.087	0.067	0.135	0.303	0.138	0.107	0.052	0.075	0.009	0.079	0.078	
		0.044	0.045	0.020	0.018	0.013	0.024	0.026	0.016	0.013	0.013	0.014	0.032	0.009	0.008	

NGC 5846a												$r_{\text{ef}} = 3,30''$ AP= 182�		
r	S/N	Há	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	Na5895	Fe2	Fe6
(")	/�	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.3	70.3	0.062	0.080	0.153	0.288	0.168	0.079	0.072	0.074	0.034	0.047	0.173	0.076	0.075
		0.005	0.004	0.011	0.012	0.005	0.003	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.002	0.002
1.3	57.3	0.060	0.074	0.145	0.282	0.169	0.082	0.073	0.072	0.029	0.040	0.159	0.078	0.076
		0.006	0.005	0.011	0.013	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003
-1.3	57.0	0.056	0.075	0.148	0.278	0.162	0.076	0.067	0.069	0.031	0.047	0.164	0.071	0.070
		0.006	0.005	0.011	0.013	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003
2.6	34.6	0.064	0.061	0.138	0.259	0.152	0.080	0.063	0.067	0.028	0.030	0.120	0.072	0.070
		0.009	0.007	0.012	0.013	0.008	0.007	0.007	0.008	0.007	0.007	0.006	0.005	0.004
-2.6	34.5	0.055	0.075	0.133	0.254	0.149	0.075	0.063	0.070	0.031	0.041	0.130	0.069	0.070
		0.009	0.007	0.012	0.013	0.008	0.007	0.007	0.008	0.007	0.007	0.006	0.005	0.004
4.0	23.2	0.071	0.054	0.138	0.246	0.141	0.065	0.057	0.060	0.026	0.036	0.105	0.061	0.060
		0.014	0.011	0.014	0.015	0.012	0.010	0.011	0.012	0.010	0.011	0.009	0.007	0.006
-4.0	23.1	0.061	0.075	0.127	0.237	0.130	0.068	0.065	0.075	0.038	0.041	0.120	0.067	0.069
		0.014	0.011	0.014	0.015	0.012	0.010	0.011	0.012	0.010	0.011	0.009	0.007	0.006

NGC 5846A													$r_{\text{ef}} = 3,30''$ AP= 40°		
r	S/N	Ca4455	Fe4531	Fe4668	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe2	Fe6
($''$)	/Å	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.2	36.4	0.204	0.110	0.143	0.051	0.071	0.153	0.294	0.182	0.099	0.067	0.064	0.020	0.083	0.077
		0.029	0.031	0.014	0.010	0.007	0.025	0.025	0.008	0.008	0.008	0.009	0.031	0.006	0.005
0.8	33.7	0.044	0.096	0.140	0.064	0.068	0.156	0.297	0.172	0.091	0.076	0.079	0.040	0.083	0.082
		0.029	0.031	0.014	0.010	0.007	0.025	0.025	0.009	0.008	0.009	0.009	0.031	0.006	0.005
-0.8	33.4	0.363	0.108	0.142	0.063	0.069	0.163	0.313	0.163	0.094	0.063	0.062	0.034	0.078	0.073
		0.032	0.031	0.014	0.010	0.007	0.025	0.025	0.009	0.008	0.009	0.010	0.031	0.006	0.005
1.6	27.2	0.141	0.109	0.124	0.084	0.067	0.159	0.303	0.167	0.089	0.066	0.085	0.027	0.077	0.080
		0.033	0.033	0.015	0.012	0.009	0.025	0.025	0.011	0.010	0.010	0.011	0.031	0.007	0.006
-1.6	27.3	0.035	0.118	0.158	0.048	0.066	0.169	0.323	0.160	0.075	0.068	0.075	0.023	0.072	0.073
		0.031	0.031	0.016	0.012	0.009	0.025	0.025	0.011	0.010	0.010	0.011	0.031	0.007	0.006
2.3	20.9	0.039	0.103	0.146	0.089	0.052	0.175	0.318	0.164	0.104	0.083	0.054	0.010	0.093	0.080
		0.040	0.036	0.018	0.016	0.011	0.025	0.026	0.014	0.012	0.013	0.014	0.032	0.009	0.007
-2.3	21.2	0.130	0.128	0.124	0.026	0.065	0.192	0.349	0.178	0.065	0.035	0.060	0.028	0.050	0.053
		0.039	0.034	0.017	0.015	0.011	0.025	0.026	0.014	0.012	0.013	0.014	0.032	0.009	0.007
3.5	20.3	0.160	0.092	0.087	0.052	0.051	0.161	0.304	0.167	0.090	0.077	0.046	0.014	0.083	0.071
		0.044	0.038	0.018	0.017	0.012	0.025	0.026	0.015	0.012	0.013	0.014	0.032	0.009	0.008
-3.5	20.8	0.095	0.083	0.139	0.055	0.054	0.192	0.332	0.153	0.056	0.061	0.074	0.024	0.058	0.064
		0.041	0.035	0.018	0.016	0.011	0.025	0.026	0.014	0.012	0.013	0.014	0.032	0.009	0.007

IC 767		$r_{\text{ef}} = 5,23''$ AP= 75�												
r	S/N	Há	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	Na5895	Fe2	Fe6
(")	/�	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.3	45.5	0.116	0.067	0.041	0.123	0.071	0.072	0.066	0.058	0.048	0.036	0.056	0.069	0.065
		0.007	0.006	0.013	0.012	0.006	0.005	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004	0.003
1.3	39.1	0.114	0.067	0.037	0.117	0.074	0.068	0.061	0.069	0.043	0.036	0.052	0.065	0.066
		0.009	0.007	0.013	0.012	0.007	0.006	0.006	0.007	0.006	0.007	0.005	0.004	0.004
-1.3	38.8	0.118	0.071	0.034	0.119	0.074	0.072	0.064	0.054	0.043	0.030	0.047	0.068	0.063
		0.008	0.007	0.013	0.012	0.007	0.006	0.007	0.007	0.006	0.007	0.006	0.004	0.004
2.6	27.3	0.111	0.063	0.044	0.116	0.083	0.068	0.065	0.054	0.033	0.029	0.050	0.067	0.062
		0.012	0.009	0.013	0.013	0.010	0.009	0.009	0.010	0.009	0.009	0.008	0.006	0.005
-2.6	27.1	0.115	0.071	0.039	0.118	0.067	0.067	0.062	0.050	0.036	0.027	0.042	0.065	0.060
		0.012	0.009	0.013	0.013	0.010	0.009	0.009	0.010	0.009	0.009	0.008	0.006	0.005
4.0	20.2	0.108	0.056	0.047	0.115	0.071	0.065	0.044	0.056	0.030	0.048	0.044	0.055	0.055
		0.016	0.012	0.015	0.015	0.013	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.010	0.009	0.007
-4.0	20.0	0.104	0.058	0.048	0.113	0.064	0.057	0.065	0.047	0.047	0.019	0.027	0.061	0.056
		0.016	0.013	0.015	0.015	0.014	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.011	0.009	0.007
5.3	15.9	0.091	0.065	0.047	0.126	0.066	0.059	0.022	0.066	0.021	0.027	0.029	0.041	0.049
		0.021	0.016	0.016	0.016	0.017	0.015	0.016	0.017	0.015	0.016	0.013	0.011	0.009
-5.3	15.7	0.113	0.042	0.051	0.120	0.101	0.037	0.072	0.043	0.056	0.022	0.045	0.054	0.050
		0.021	0.016	0.016	0.016	0.017	0.015	0.016	0.018	0.015	0.016	0.013	0.011	0.009
7.9	19.6	0.081	0.065	0.036	0.121	0.048	0.065	0.034	0.029	0.036	0.018	0.018	0.049	0.043
		0.017	0.013	0.015	0.015	0.014	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.011	0.009	0.008
-7.9	19.4	0.133	0.050	0.046	0.114	0.085	0.006	0.080	0.033	0.064	0.026	0.031	0.043	0.039
		0.017	0.013	0.015	0.015	0.014	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.011	0.009	0.008

VCC 1148		$r_{\text{ef}} = 3,89''$ AP= 170°													
r	S/N	Ca4455	Fe4531	Fe4668	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe2	Fe6
($''$)	/Å	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.2	30.6	0.185	0.292	0.147	0.086	0.092	0.104	0.256	0.160	0.099	0.072	0.080	0.063	0.086	0.084
		0.033	0.040	0.016	0.011	0.009	0.023	0.024	0.010	0.009	0.009	0.010	0.032	0.006	0.005
0.8	27.3	0.070	0.214	0.141	0.105	0.085	0.107	0.254	0.155	0.096	0.069	0.074	0.044	0.082	0.079
		0.033	0.040	0.016	0.012	0.010	0.023	0.024	0.011	0.009	0.010	0.011	0.032	0.007	0.006
-0.8	26.7	-0.076	0.348	0.169	0.083	0.071	0.108	0.268	0.168	0.107	0.083	0.077	0.055	0.095	0.089
		0.031	0.042	0.017	0.013	0.010	0.023	0.024	0.011	0.009	0.010	0.011	0.032	0.007	0.006
1.6	19.6	0.039	0.245	0.183	0.080	0.069	0.113	0.275	0.159	0.099	0.062	0.050	0.046	0.081	0.071
		0.042	0.045	0.019	0.017	0.014	0.024	0.025	0.015	0.012	0.013	0.014	0.033	0.009	0.008
-1.6	19.4	0.025	0.328	0.179	0.081	0.060	0.122	0.299	0.177	0.104	0.089	0.071	0.041	0.096	0.088
		0.041	0.047	0.019	0.017	0.014	0.024	0.026	0.015	0.012	0.013	0.014	0.033	0.009	0.008
3.1	16.8	-0.031	0.384	0.172	0.067	0.052	0.106	0.280	0.164	0.132	0.069	0.045	0.050	0.100	0.082
		0.042	0.052	0.021	0.020	0.016	0.024	0.026	0.017	0.014	0.015	0.016	0.034	0.010	0.009
-3.1	17.4	0.055	0.365	0.153	0.074	0.135	0.135	0.297	0.145	0.090	0.078	0.075	0.028	0.084	0.081
		0.045	0.051	0.021	0.019	0.015	0.024	0.026	0.017	0.014	0.014	0.015	0.033	0.010	0.008

VCC 1627		$r_{\text{ef}} = 4,07''$ AP= 164�													
r	S/N	Ca4455	Fe4531	Fe4668	H�	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe2	Fe6
(")	/�	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
-4.3	43.3	-0.016	0.160	0.136	0.086	0.106	0.069	0.191	0.122	0.085	0.093	0.076	0.044	0.089	0.085
		0.023	0.027	0.016	0.008	0.007	0.016	0.022	0.007	0.007	0.007	0.008	0.031	0.005	0.004
-2.3	38.4	0.100	0.240	0.135	0.074	0.108	0.066	0.194	0.130	0.090	0.094	0.081	0.054	0.092	0.088
		0.026	0.029	0.017	0.009	0.008	0.016	0.022	0.008	0.008	0.008	0.008	0.032	0.005	0.005
-1.6	37.6	0.160	0.000	0.127	0.087	0.106	0.065	0.196	0.139	0.080	0.082	0.077	0.050	0.081	0.080
		0.026	0.025	0.017	0.009	0.008	0.017	0.022	0.008	0.008	0.008	0.009	0.031	0.006	0.005
-0.8	27.1	0.204	0.080	0.120	0.088	0.108	0.061	0.183	0.131	0.084	0.083	0.084	0.052	0.083	0.083
		0.032	0.032	0.018	0.012	0.010	0.017	0.022	0.011	0.010	0.010	0.011	0.032	0.007	0.006
0.2	26.8	-0.138	0.255	0.124	0.108	0.102	0.064	0.198	0.120	0.082	0.073	0.072	0.054	0.078	0.076
		0.029	0.035	0.018	0.012	0.010	0.017	0.022	0.011	0.010	0.010	0.011	0.032	0.007	0.006
0.8	17.8	0.244	-0.076	0.125	0.068	0.117	0.068	0.173	0.110	0.052	0.050	0.082	0.032	0.051	0.061
		0.040	0.039	0.021	0.018	0.014	0.019	0.024	0.016	0.014	0.015	0.016	0.034	0.010	0.008
1.6	17.9	0.115	0.161	0.097	0.087	0.088	0.050	0.201	0.124	0.093	0.089	0.051	0.034	0.091	0.077
		0.040	0.039	0.021	0.018	0.014	0.018	0.024	0.016	0.014	0.014	0.015	0.033	0.010	0.008
2.3	15.7	0.232	0.143	0.119	0.081	0.065	0.085	0.172	0.133	0.021	0.053	0.017	0.011	0.037	0.030
		0.040	0.048	0.022	0.022	0.016	0.019	0.025	0.019	0.015	0.016	0.018	0.034	0.011	0.009
4.3	16.0	0.311	-0.171	0.106	0.069	0.094	0.076	0.180	0.102	0.050	0.073	0.059	0.006	0.062	0.061
		0.043	0.054	0.022	0.021	0.016	0.020	0.025	0.018	0.015	0.016	0.017	0.033	0.011	0.009

NGC 2694													$r_{\text{ef}} = 12,8''$ AP=180°		
r	S/N	Fe4383	Ca4455	Fe4531	Fe4668	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe2	Fe6
($''$)	/Å	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.2	56.8	0.125	0.163	0.049	0.086	0.065	0.081	0.079	0.208	0.154	0.099	0.094	0.088	0.097	0.094
		0.039	0.016	0.020	0.005	0.006	0.005	0.021	0.084	0.007	0.007	0.006	0.028	0.004	0.010
0.8	54.9	0.171	0.199	0.056	0.089	0.069	0.084	0.116	0.251	0.151	0.096	0.093	0.079	0.094	0.089
		0.039	0.017	0.020	0.005	0.006	0.005	0.021	0.084	0.008	0.007	0.006	0.028	0.004	0.010
-0.8	50.7	0.185	0.218	0.054	0.074	0.076	0.081	0.087	0.228	0.159	0.096	0.090	0.089	0.093	0.092
		0.038	0.018	0.020	0.006	0.006	0.005	0.021	0.084	0.008	0.007	0.006	0.028	0.005	0.010
1.6	42.8	0.171	0.217	0.039	0.088	0.066	0.078	0.151	0.306	0.148	0.092	0.090	0.082	0.091	0.088
		0.040	0.021	0.020	0.007	0.007	0.006	0.021	0.084	0.009	0.008	0.007	0.028	0.005	0.010
-1.6	42.6	0.131	0.148	0.049	0.081	0.074	0.084	0.119	0.271	0.174	0.099	0.091	0.086	0.095	0.092
		0.040	0.019	0.021	0.007	0.008	0.006	0.021	0.084	0.009	0.008	0.007	0.028	0.005	0.010
2.3	29.2	0.164	0.396	0.031	0.069	0.069	0.076	0.148	0.309	0.163	0.092	0.093	0.077	0.093	0.087
		0.044	0.029	0.023	0.009	0.011	0.008	0.022	0.084	0.011	0.010	0.009	0.029	0.007	0.011
-2.3	35.5	0.132	0.078	0.048	0.086	0.061	0.072	0.169	0.310	0.163	0.088	0.090	0.101	0.089	0.093
		0.043	0.024	0.022	0.008	0.009	0.007	0.022	0.084	0.010	0.008	0.008	0.029	0.006	0.010
3.1	20.0	0.104	0.247	0.052	0.039	0.056	0.092	0.136	0.269	0.136	0.076	0.084	0.056	0.080	0.072
		0.052	0.038	0.027	0.013	0.016	0.012	0.022	0.085	0.015	0.013	0.013	0.030	0.009	0.012
-3.1	28.1	0.148	0.201	0.049	0.098	0.054	0.079	0.217	0.366	0.154	0.084	0.085	0.085	0.085	0.085
		0.046	0.032	0.025	0.011	0.012	0.009	0.022	0.084	0.012	0.010	0.009	0.029	0.007	0.011
3.9	14.5	-0.026	0.407	0.030	0.071	0.068	0.075	0.130	0.233	0.113	0.090	0.077	0.052	0.083	0.073
		0.060	0.050	0.033	0.018	0.023	0.016	0.024	0.085	0.020	0.016	0.017	0.033	0.012	0.014
-3.9	21.4	0.112	0.110	0.025	0.072	0.050	0.063	0.240	0.404	0.136	0.088	0.074	0.053	0.081	0.072
		0.054	0.043	0.030	0.015	0.016	0.012	0.022	0.085	0.015	0.012	0.011	0.029	0.008	0.011
5.1	13.6	0.259	0.541	0.050	0.049	0.068	0.052	0.105	0.249	0.136	0.118	0.071	0.068	0.094	0.085
		0.062	0.053	0.035	0.019	0.025	0.017	0.024	0.086	0.021	0.017	0.018	0.033	0.013	0.014
-5.1	19.2	0.056	0.089	0.039	0.071	0.054	0.063	0.235	0.397	0.166	0.077	0.087	0.074	0.082	0.079
		0.057	0.045	0.033	0.017	0.018	0.013	0.023	0.085	0.017	0.013	0.012	0.030	0.009	0.012

NGC 3605							$r_{\text{ef}} = 17,2''$ AP= 17°				
r	S/N	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe2	Fe6
($''$)	/Å	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.2	82.5	0.083	0.082	0.056	0.196	0.135	0.102	0.096	0.087	0.099	0.095
		0.005	0.007	0.016	0.012	0.003	0.003	0.003	0.007	0.002	0.003
0.9	76.4	0.079	0.084	0.073	0.220	0.136	0.099	0.096	0.083	0.098	0.093
		0.005	0.007	0.016	0.012	0.004	0.003	0.003	0.007	0.002	0.003
-0.9	76.3	0.088	0.083	0.080	0.215	0.136	0.100	0.095	0.089	0.098	0.095
		0.005	0.007	0.016	0.012	0.004	0.003	0.003	0.008	0.002	0.003
1.8	62.7	0.095	0.085	0.099	0.241	0.133	0.098	0.086	0.083	0.092	0.089
		0.006	0.008	0.016	0.012	0.004	0.004	0.004	0.008	0.003	0.003
-1.8	62.3	0.082	0.085	0.117	0.246	0.136	0.093	0.090	0.088	0.092	0.091
		0.006	0.008	0.016	0.012	0.004	0.004	0.004	0.008	0.003	0.003
2.7	49.6	0.090	0.084	0.111	0.247	0.124	0.093	0.079	0.082	0.086	0.085
		0.007	0.008	0.015	0.012	0.006	0.005	0.005	0.009	0.004	0.004
-2.7	48.9	0.087	0.079	0.120	0.251	0.126	0.087	0.085	0.083	0.086	0.085
		0.007	0.008	0.015	0.012	0.006	0.005	0.006	0.009	0.004	0.004
3.6	40.2	0.081	0.086	0.104	0.233	0.117	0.083	0.078	0.079	0.081	0.080
		0.008	0.009	0.015	0.012	0.007	0.006	0.007	0.010	0.005	0.004
-3.6	39.4	0.085	0.072	0.107	0.224	0.122	0.081	0.074	0.082	0.078	0.079
		0.008	0.009	0.015	0.012	0.007	0.006	0.007	0.010	0.005	0.005
4.5	33.9	0.082	0.088	0.099	0.220	0.112	0.094	0.075	0.070	0.084	0.079
		0.009	0.010	0.016	0.013	0.008	0.007	0.008	0.011	0.005	0.005
-4.5	33.2	0.087	0.071	0.101	0.224	0.121	0.089	0.083	0.068	0.086	0.080
		0.009	0.010	0.016	0.013	0.008	0.007	0.008	0.011	0.005	0.005
5.4	29.3	0.085	0.068	0.095	0.217	0.101	0.080	0.074	0.051	0.077	0.068
		0.011	0.010	0.016	0.013	0.009	0.008	0.009	0.012	0.006	0.006
-5.4	28.6	0.066	0.081	0.079	0.213	0.127	0.091	0.084	0.081	0.088	0.085
		0.011	0.011	0.016	0.013	0.010	0.008	0.009	0.012	0.006	0.006

6.3	25.6	0.099	0.072	0.092	0.223	0.105	0.068	0.079	0.057	0.074	0.068
		0.012	0.011	0.016	0.014	0.011	0.009	0.010	0.013	0.007	0.006
-6.3	25.0	0.082	0.070	0.081	0.209	0.138	0.083	0.073	0.096	0.078	0.084
		0.012	0.011	0.017	0.014	0.011	0.010	0.011	0.013	0.007	0.007
7.2	22.6	0.094	0.090	0.083	0.200	0.110	0.094	0.071	0.077	0.082	0.080
		0.014	0.012	0.016	0.014	0.012	0.011	0.012	0.015	0.008	0.007
-7.2	22.1	0.091	0.063	0.085	0.212	0.120	0.086	0.079	0.050	0.083	0.072
		0.014	0.012	0.017	0.014	0.013	0.011	0.012	0.015	0.008	0.007
8.6	26.9	0.095	0.070	0.067	0.183	0.107	0.090	0.086	0.075	0.088	0.084
		0.012	0.011	0.016	0.013	0.010	0.009	0.010	0.013	0.007	0.006
-8.6	26.4	0.074	0.077	0.077	0.212	0.145	0.094	0.080	0.055	0.087	0.076
		0.012	0.011	0.016	0.014	0.011	0.009	0.010	0.013	0.007	0.006
10.3	21.6	0.119	0.071	0.066	0.162	0.105	0.095	0.077	0.081	0.086	0.084
		0.014	0.013	0.017	0.014	0.013	0.011	0.012	0.015	0.008	0.007
-10.3	21.2	0.081	0.077	0.070	0.194	0.115	0.084	0.067	0.098	0.076	0.083
		0.015	0.013	0.017	0.014	0.013	0.011	0.013	0.015	0.008	0.008
12.6	20.6	0.081	0.060	0.048	0.189	0.118	0.080	0.089	0.081	0.084	0.083
		0.015	0.013	0.017	0.015	0.013	0.011	0.013	0.016	0.009	0.008
-12.6	20.7	0.087	0.101	0.086	0.205	0.098	0.096	0.068	0.058	0.082	0.074
		0.015	0.013	0.017	0.015	0.014	0.012	0.013	0.016	0.009	0.008
16.2	18.3	0.079	0.073	0.067	0.186	0.104	0.074	0.097	0.094	0.085	0.088
		0.017	0.014	0.018	0.016	0.015	0.013	0.014	0.017	0.010	0.009
-16.2	18.2	0.052	0.076	0.057	0.180	0.121	0.065	0.085	0.081	0.075	0.077
		0.017	0.014	0.017	0.016	0.015	0.013	0.015	0.017	0.010	0.009
23.8	12.4	0.058	0.050	0.017	0.164	0.101	0.076	0.143	0.048	0.109	0.088
		0.024	0.019	0.020	0.020	0.022	0.019	0.021	0.024	0.014	0.012
-23.8	13.3	0.088	0.112	0.079	0.176	0.129	0.060	0.096	0.093	0.078	0.083
		0.023	0.018	0.019	0.019	0.021	0.018	0.020	0.023	0.013	0.012

NGC 3641		$r_{\text{ef}} = 16,1''$ AP= 60�													
r	S/N	Ca4455	Fe4531	Fe4668	H�	Fe5015	Mg�	Mg�	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe2	Fe6
(")	/�	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.2	74.4	-0.072	0.172	0.169	0.064	0.079	0.111	0.251	0.168	0.090	0.070	0.075	0.030	0.080	0.078
		0.020	0.033	0.013	0.006	0.004	0.023	0.024	0.005	0.005	0.006	0.006	0.030	0.004	0.003
0.8	67.7	-0.032	0.164	0.168	0.065	0.074	0.121	0.260	0.171	0.092	0.064	0.068	0.035	0.078	0.075
		0.021	0.034	0.013	0.006	0.004	0.023	0.024	0.005	0.005	0.006	0.006	0.030	0.004	0.003
-0.8	67.2	-0.043	0.180	0.162	0.061	0.070	0.115	0.274	0.173	0.087	0.071	0.065	0.023	0.079	0.074
		0.020	0.033	0.013	0.006	0.004	0.023	0.024	0.005	0.005	0.006	0.006	0.030	0.004	0.003
1.6	52.3	-0.003	0.174	0.155	0.061	0.064	0.131	0.278	0.153	0.083	0.065	0.058	0.031	0.074	0.069
		0.023	0.034	0.014	0.007	0.005	0.023	0.024	0.006	0.006	0.007	0.007	0.030	0.005	0.004
-1.6	52.6	0.056	0.187	0.166	0.066	0.075	0.139	0.307	0.168	0.081	0.070	0.066	0.021	0.076	0.072
		0.023	0.034	0.014	0.007	0.005	0.023	0.024	0.006	0.006	0.007	0.007	0.030	0.005	0.004
2.3	38.1	-0.033	0.184	0.149	0.069	0.072	0.125	0.277	0.143	0.089	0.070	0.063	0.023	0.080	0.074
		0.025	0.036	0.014	0.009	0.007	0.023	0.025	0.008	0.007	0.008	0.008	0.031	0.005	0.005
-2.3	39.0	0.052	0.202	0.162	0.072	0.058	0.133	0.301	0.163	0.083	0.062	0.068	0.022	0.072	0.071
		0.026	0.035	0.014	0.009	0.007	0.023	0.025	0.008	0.007	0.008	0.008	0.031	0.005	0.005
3.1	27.9	-0.026	0.180	0.152	0.068	0.068	0.114	0.269	0.150	0.081	0.062	0.057	0.028	0.072	0.067
		0.031	0.038	0.016	0.012	0.009	0.023	0.024	0.011	0.009	0.010	0.010	0.031	0.007	0.006
-3.1	28.8	0.167	0.155	0.162	0.072	0.062	0.131	0.299	0.157	0.081	0.064	0.055	0.029	0.073	0.067
		0.032	0.037	0.016	0.012	0.009	0.024	0.025	0.010	0.009	0.010	0.010	0.031	0.007	0.006
3.9	20.9	0.123	0.181	0.152	0.082	0.059	0.103	0.246	0.143	0.082	0.067	0.047	0.045	0.074	0.065
		0.041	0.043	0.018	0.016	0.012	0.024	0.026	0.014	0.012	0.013	0.013	0.033	0.009	0.007
-3.9	21.5	0.087	0.161	0.169	0.056	0.051	0.120	0.286	0.151	0.089	0.068	0.054	0.030	0.079	0.071
		0.041	0.041	0.018	0.016	0.012	0.024	0.026	0.014	0.011	0.012	0.013	0.032	0.008	0.007
4.7	16.0	0.016	0.199	0.158	0.076	0.053	0.100	0.232	0.124	0.077	0.044	0.042	0.003	0.061	0.054
		0.050	0.049	0.021	0.021	0.016	0.025	0.027	0.018	0.014	0.016	0.017	0.033	0.011	0.009
-4.7	16.3	-0.012	0.166	0.170	0.104	0.062	0.125	0.278	0.161	0.089	0.051	0.051	0.023	0.070	0.063
		0.047	0.048	0.021	0.020	0.015	0.025	0.027	0.018	0.015	0.016	0.017	0.034	0.011	0.009
6.2	17.1	0.013	0.206	0.166	0.083	0.063	0.096	0.207	0.131	0.085	0.053	0.055	0.008	0.069	0.064
		0.045	0.048	0.020	0.020	0.015	0.025	0.027	0.016	0.014	0.015	0.016	0.033	0.010	0.009
-6.2	18.1	0.079	0.207	0.140	0.046	0.051	0.105	0.240	0.144	0.067	0.039	0.057	0.046	0.053	0.054
		0.041	0.045	0.020	0.018	0.014	0.025	0.026	0.016	0.013	0.014	0.015	0.034	0.010	0.008

NGC 5846												$r_{\text{ef}} = 128''$ AP= 77°		
r	S/N	H β	Fe5015	Mg $_1$	Mg $_2$	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	Na5895	Fe2	Fe6
($''$)	/Å	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.3	25.5	0.053	0.074	0.157	0.314	0.183	0.076	0.073	0.070	0.044	0.043	0.184	0.074	0.073
		0.013	0.010	0.014	0.014	0.011	0.009	0.010	0.011	0.009	0.009	0.008	0.007	0.006
1.3	23.8	0.066	0.071	0.162	0.314	0.177	0.080	0.077	0.060	0.047	0.037	0.184	0.079	0.072
		0.014	0.011	0.014	0.014	0.012	0.010	0.010	0.011	0.010	0.010	0.009	0.007	0.006
-1.3	23.8	0.042	0.061	0.156	0.309	0.166	0.075	0.067	0.070	0.043	0.040	0.190	0.071	0.071
		0.014	0.011	0.014	0.014	0.012	0.010	0.010	0.011	0.010	0.010	0.009	0.007	0.006
2.6	20.2	0.064	0.069	0.161	0.306	0.167	0.077	0.074	0.056	0.048	0.031	0.190	0.075	0.069
		0.016	0.013	0.015	0.015	0.014	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
-2.6	20.1	0.039	0.072	0.168	0.321	0.160	0.082	0.071	0.074	0.049	0.032	0.190	0.077	0.076
		0.016	0.013	0.015	0.015	0.014	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
4.0	16.9	0.058	0.078	0.156	0.303	0.157	0.079	0.083	0.043	0.043	0.032	0.206	0.081	0.068
		0.019	0.015	0.016	0.016	0.017	0.014	0.015	0.016	0.014	0.015	0.012	0.010	0.008
-4.0	16.7	0.043	0.079	0.164	0.321	0.177	0.083	0.067	0.081	0.053	0.034	0.194	0.075	0.077
		0.019	0.015	0.016	0.016	0.017	0.014	0.015	0.016	0.013	0.015	0.012	0.010	0.009
5.9	19.7	0.025	0.069	0.140	0.310	0.165	0.097	0.083	0.051	0.032	0.061	0.195	0.090	0.077
		0.017	0.013	0.015	0.015	0.015	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.011	0.009	0.007
-5.9	19.9	0.060	0.083	0.152	0.282	0.141	0.088	0.062	0.054	0.043	0.036	0.188	0.075	0.068
		0.017	0.013	0.015	0.015	0.014	0.012	0.012	0.014	0.012	0.012	0.010	0.009	0.007
9.2	19.4	0.073	0.074	0.172	0.301	0.162	0.092	0.073	0.057	0.035	0.022	0.182	0.083	0.074
		0.017	0.013	0.015	0.015	0.015	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.011	0.009	0.007
-9.2	19.5	0.076	0.082	0.144	0.274	0.136	0.088	0.066	0.078	0.028	0.063	0.170	0.077	0.077
		0.017	0.013	0.015	0.015	0.015	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.011	0.009	0.007
15.2	20.7	0.067	0.090	0.155	0.299	0.130	0.058	0.051	0.048	0.031	0.043	0.176	0.054	0.052
		0.016	0.012	0.014	0.015	0.014	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
-15.2	20.8	0.080	0.100	0.149	0.307	0.156	0.084	0.057	0.058	0.035	0.030	0.142	0.070	0.066
		0.016	0.012	0.014	0.015	0.014	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007

NGC 5846

 $r_{\text{ef}} = 128''$ AP= 182°

r	S/N	H β	Fe5015	Mg ₁	Mg ₂	Mgb	Fe5270	Fe5335	Fe5406	Fe5709	Fe5782	Na5895	Fe2	Fe6
($''$)	/Å	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0.3	60.0	0.044	0.070	0.161	0.316	0.179	0.079	0.066	0.073	0.040	0.044	0.189	0.073	0.073
		0.005	0.005	0.012	0.011	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.002
1.3	59.9	0.043	0.070	0.159	0.313	0.179	0.085	0.068	0.068	0.039	0.045	0.192	0.076	0.074
		0.005	0.005	0.012	0.011	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.002
-1.3	52.4	0.041	0.076	0.165	0.313	0.176	0.079	0.071	0.074	0.045	0.044	0.182	0.075	0.074
		0.006	0.005	0.012	0.012	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004	0.005	0.004	0.003	0.003
2.6	51.9	0.039	0.073	0.161	0.310	0.170	0.086	0.071	0.061	0.044	0.047	0.186	0.079	0.073
		0.006	0.005	0.012	0.012	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004	0.005	0.004	0.003	0.003
-2.6	43.5	0.054	0.072	0.160	0.310	0.167	0.076	0.069	0.066	0.045	0.038	0.181	0.072	0.070
		0.007	0.006	0.013	0.012	0.007	0.005	0.006	0.006	0.005	0.006	0.005	0.004	0.003
4.0	42.7	0.036	0.071	0.163	0.307	0.165	0.080	0.064	0.064	0.048	0.045	0.178	0.072	0.069
		0.008	0.006	0.013	0.012	0.007	0.005	0.006	0.006	0.005	0.006	0.005	0.004	0.003
-4.0	37.1	0.046	0.070	0.158	0.306	0.161	0.075	0.070	0.067	0.041	0.038	0.174	0.073	0.071
		0.009	0.007	0.013	0.012	0.008	0.006	0.007	0.007	0.006	0.007	0.006	0.005	0.004
5.3	36.6	0.033	0.076	0.157	0.303	0.161	0.073	0.058	0.067	0.046	0.042	0.171	0.066	0.066
		0.009	0.007	0.013	0.013	0.008	0.006	0.007	0.007	0.006	0.007	0.006	0.005	0.004
-5.3	32.9	0.038	0.068	0.160	0.301	0.162	0.077	0.071	0.066	0.041	0.036	0.164	0.074	0.071
		0.010	0.008	0.013	0.013	0.009	0.007	0.007	0.008	0.007	0.008	0.006	0.005	0.004
6.6	32.7	0.036	0.061	0.156	0.296	0.152	0.074	0.051	0.066	0.047	0.046	0.166	0.062	0.064
		0.010	0.008	0.013	0.013	0.009	0.007	0.008	0.008	0.007	0.008	0.006	0.005	0.004
-6.6	29.7	0.029	0.069	0.161	0.302	0.159	0.072	0.067	0.068	0.043	0.027	0.160	0.070	0.069
		0.011	0.009	0.013	0.013	0.010	0.008	0.008	0.009	0.008	0.008	0.007	0.006	0.005
7.9	29.7	0.036	0.050	0.156	0.291	0.159	0.072	0.049	0.054	0.043	0.049	0.161	0.061	0.058
		0.011	0.009	0.013	0.013	0.010	0.008	0.008	0.009	0.008	0.008	0.007	0.006	0.005
-7.9	27.2	0.039	0.068	0.163	0.296	0.159	0.075	0.064	0.070	0.037	0.037	0.160	0.069	0.070
		0.012	0.009	0.013	0.013	0.011	0.008	0.009	0.010	0.008	0.009	0.008	0.006	0.005
9.2	27.1	0.034	0.053	0.157	0.293	0.162	0.072	0.065	0.043	0.045	0.049	0.147	0.068	0.060
		0.012	0.009	0.013	0.013	0.011	0.009	0.009	0.010	0.008	0.009	0.008	0.006	0.005
-9.2	25.0	0.034	0.067	0.162	0.292	0.143	0.079	0.064	0.052	0.034	0.050	0.160	0.071	0.065
		0.013	0.010	0.014	0.014	0.012	0.009	0.010	0.011	0.009	0.010	0.008	0.007	0.006
10.6	25.0	0.037	0.059	0.156	0.293	0.155	0.066	0.064	0.058	0.041	0.052	0.151	0.065	0.063
		0.013	0.010	0.014	0.014	0.012	0.009	0.010	0.011	0.009	0.010	0.008	0.007	0.006
-10.6	23.1	0.036	0.075	0.164	0.290	0.135	0.076	0.068	0.047	0.036	0.051	0.153	0.072	0.063
		0.014	0.011	0.014	0.014	0.012	0.010	0.011	0.012	0.010	0.011	0.009	0.007	0.006

11.9	23.3	0.038	0.077	0.161	0.295	0.153	0.058	0.062	0.046	0.042	0.038	0.158	0.060	0.055
		0.014	0.011	0.014	0.014	0.012	0.010	0.011	0.012	0.010	0.011	0.009	0.007	0.006
-11.9	21.7	0.052	0.078	0.157	0.283	0.131	0.053	0.071	0.067	0.036	0.053	0.151	0.062	0.064
		0.015	0.012	0.014	0.014	0.013	0.011	0.011	0.013	0.011	0.012	0.009	0.008	0.007
13.2	21.8	0.054	0.071	0.147	0.301	0.163	0.066	0.070	0.057	0.041	0.038	0.148	0.068	0.064
		0.015	0.012	0.014	0.014	0.013	0.011	0.011	0.012	0.011	0.011	0.010	0.008	0.007
-13.2	20.5	0.069	0.078	0.167	0.288	0.137	0.058	0.062	0.060	0.036	0.036	0.139	0.060	0.060
		0.016	0.012	0.015	0.015	0.014	0.011	0.012	0.013	0.011	0.013	0.010	0.008	0.007
14.5	20.7	0.057	0.071	0.143	0.299	0.145	0.068	0.069	0.074	0.036	0.027	0.148	0.068	0.070
		0.016	0.013	0.014	0.015	0.014	0.011	0.012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.008	0.007
-14.5	19.5	0.075	0.079	0.159	0.293	0.122	0.061	0.052	0.055	0.037	0.038	0.142	0.056	0.056
		0.017	0.013	0.015	0.015	0.015	0.012	0.013	0.014	0.012	0.013	0.010	0.009	0.007
15.8	19.8	0.045	0.071	0.147	0.291	0.154	0.071	0.059	0.073	0.046	0.040	0.138	0.065	0.068
		0.017	0.013	0.015	0.015	0.015	0.012	0.013	0.013	0.012	0.013	0.010	0.009	0.007
-16.5	25.6	0.052	0.078	0.138	0.291	0.143	0.064	0.050	0.044	0.045	0.047	0.134	0.057	0.053
		0.013	0.010	0.014	0.014	0.011	0.009	0.010	0.011	0.009	0.010	0.008	0.007	0.006
17.2	18.9	0.059	0.070	0.157	0.286	0.137	0.070	0.054	0.056	0.049	0.031	0.138	0.062	0.060
		0.017	0.014	0.015	0.016	0.015	0.012	0.013	0.015	0.012	0.013	0.011	0.009	0.008
19.1	25.2	0.064	0.085	0.148	0.275	0.126	0.050	0.036	0.068	0.048	0.039	0.123	0.043	0.051
		0.013	0.010	0.014	0.014	0.011	0.009	0.010	0.011	0.009	0.010	0.008	0.007	0.006
-19.1	23.6	0.051	0.096	0.156	0.273	0.138	0.069	0.037	0.057	0.043	0.033	0.133	0.053	0.054
		0.014	0.011	0.014	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.010	0.010	0.009	0.007	0.006
21.8	23.4	0.111	0.074	0.143	0.281	0.132	0.047	0.049	0.073	0.034	0.041	0.110	0.048	0.056
		0.014	0.011	0.014	0.014	0.013	0.010	0.011	0.011	0.010	0.011	0.009	0.007	0.006
-21.8	21.8	0.048	0.086	0.159	0.268	0.114	0.051	0.035	0.062	0.037	0.043	0.111	0.043	0.049
		0.015	0.012	0.014	0.014	0.013	0.011	0.012	0.012	0.010	0.011	0.009	0.008	0.007
-25.1	24.2	0.076	0.066	0.129	0.260	0.122	0.034	0.055	0.064	0.020	0.033	0.115	0.045	0.051
		0.014	0.011	0.014	0.014	0.012	0.010	0.010	0.011	0.009	0.010	0.009	0.007	0.006
29.0	39.4	0.049	0.072	0.123	0.246	0.084	0.053	0.033	0.067	0.040	0.043	0.106	0.043	0.051
		0.009	0.009	0.013	0.012	0.008	0.006	0.007	0.007	0.006	0.008	0.006	0.005	0.004
-29.7	25.1	0.076	0.065	0.132	0.245	0.100	0.053	0.036	0.077	0.043	0.028	0.087	0.045	0.055
		0.013	0.011	0.014	0.014	0.012	0.009	0.010	0.011	0.009	0.010	0.008	0.007	0.006
-37.0	28.5	0.060	0.059	0.133	0.250	0.071	0.048	0.014	0.046	0.029	0.051	0.085	0.031	0.036
		0.011	0.009	0.013	0.013	0.010	0.008	0.009	0.010	0.008	0.009	0.007	0.006	0.005
-52.1	34.1	0.051	0.074	0.117	0.208	0.025	0.027	0.020	0.081	0.036	0.035	0.053	0.023	0.042
		0.009	0.008	0.013	0.013	0.009	0.007	0.008	0.008	0.007	0.008	0.006	0.005	0.004

D ₄₀₀₀												
r (")	N3641 σ	N4464 σ	N4486B σ	N5846A σ	N4467 σ	N2694 σ	V1627 σ	IC767 σ	V1148 σ	r (")	N3641 σ	N4464 σ
0.20	2.295	2.062	2.239	1.996	1.951	2.092	1.989	1.637	1.953	13.26	1.116	1.977
	0.198	0.178	0.192	0.171	0.168	0.177	0.175	0.144	0.171		0.131	0.215
0.78	2.239	2.080	2.311	2.039	1.988	2.063	1.988	1.577	2.074	-13.26		1.473
	0.193	0.180	0.198	0.175	0.172	0.175	0.175	0.138	0.182			0.150
-0.78	2.274	2.067	2.276	1.979	2.061	2.104	1.998	1.662	1.943	14.04	1.387	2.290
	0.196	0.180	0.195	0.171	0.179	0.179	0.177	0.147	0.170		0.165	0.292
1.56	2.108	2.173	2.420	2.036	2.166	2.035	1.993	1.567	2.084	-14.04	2.035	1.512
	0.182	0.188	0.208	0.174	0.187	0.174	0.175	0.141	0.184		0.309	0.150
-1.56	2.315	2.067	2.300	2.207	2.195	1.985	2.017	1.626	2.078	14.82		1.816
	0.199	0.179	0.198	0.190	0.191	0.170	0.178	0.145	0.184			0.213
2.34	1.973	2.174	2.353	2.065	2.337	1.993	2.011	1.481	1.963	-14.82		1.410
	0.173	0.190	0.204	0.179	0.203	0.170	0.178	0.136	0.176			0.145
-2.34	2.234	2.023	2.200	2.119	2.257	1.908	2.003	1.796	2.169	15.60		1.480
	0.193	0.176	0.191	0.185	0.198	0.164	0.177	0.165	0.197			0.162
3.12	1.922	2.104	2.229	2.188	2.087	1.998	2.029	1.544	2.082	-15.60		1.878
	0.168	0.184	0.194	0.191	0.185	0.172	0.181	0.146	0.193			0.259
-3.12	2.078	1.934	2.128	2.051	2.164	1.881	2.033	1.675	2.010	15.99	1.722	
	0.180	0.169	0.185	0.181	0.191	0.162	0.183	0.168	0.186		0.249	
3.90	1.870	1.998	2.213	2.033	2.102	1.848	1.963		2.537	16.38		1.468
	0.165	0.175	0.193	0.181	0.186	0.162	0.179		0.254			0.175
-3.90	2.027	1.895	2.065	1.954	2.126	1.737	1.884		1.964	-16.38		1.995
	0.176	0.166	0.179	0.175	0.190	0.150	0.172		0.196			0.276
4.68	1.827	1.965	2.055	1.804	2.281	1.734	1.746	1.503	2.407	17.16		1.094
	0.162	0.172	0.181	0.162	0.214	0.153	0.162	0.145	0.267			0.117
-4.68	1.993	1.912	1.955	2.227	1.944	1.654	1.704	1.768	2.705	-17.16		1.558
	0.173	0.167	0.172	0.206	0.180	0.146	0.157	0.175	0.400			0.208
5.46	1.962	1.839	2.062	1.992	1.885	2.301	1.817			17.94		1.282
	0.180	0.163	0.183	0.184	0.179	0.215	0.178					0.160
-5.46	1.911	1.869	1.932	2.203	1.910	1.739	1.890			19.11	0.903	
	0.170	0.165	0.171	0.212	0.178	0.158	0.189				0.108	
6.24	1.750	1.843	2.042	2.119	1.982	1.711	1.749			-19.11		2.768
	0.167	0.163	0.185	0.207	0.201	0.165	0.187					0.448
-6.24	1.911	1.905	1.928	2.313	1.594	1.731	1.965			19.89		1.972
	0.173	0.170	0.174	0.236	0.154	0.160	0.222					0.272
7.02	1.638	1.769	1.793	2.000	2.066	1.989	2.390			22.62	1.638	
	0.155	0.157	0.164	0.203	0.224	0.197	0.330				0.206	
-7.02	1.692	1.830	1.790	2.000	1.751	1.844	2.396			59.28	1.456	
	0.156	0.164	0.163	0.210	0.183	0.183	0.350				0.187	
7.80	1.766	1.766	2.149	2.126	2.443	1.770	1.458			56.94	1.193	
	0.181	0.159	0.214	0.235	0.329	0.182	0.181				0.139	
-7.80	2.016	1.915	1.560	1.928	1.816	1.601	1.376					
	0.201	0.171	0.147	0.222	0.218	0.162	0.167					
8.58	1.324	1.880	1.588	1.611	2.167	1.647						
	0.130	0.174	0.160	0.173	0.306	0.172						
-8.58	2.073	1.903	1.857	2.176	4.291	1.852						
	0.216	0.172	0.191	0.290	0.912	0.204						
9.36	1.651	1.598	1.519		1.842	1.399						
	0.179	0.146	0.157		0.270	0.141						
-9.36	1.677	1.614	1.832		1.902	1.715						
	0.176	0.147	0.198		0.236	0.191						
10.14	1.441	1.742	1.673	1.964		1.577						
	0.160	0.164	0.199	0.186		0.167						
-10.14	1.572	1.629	1.383	1.991		1.536						
	0.169	0.151	0.147	0.210		0.182						
10.92	1.373	1.645	1.516		1.645	1.467						
	0.153	0.157	0.190		0.179	0.165						
-10.92	1.614	1.551	1.366		1.998	1.879						
	0.193	0.145	0.166		0.275	0.242						
11.70	1.605	1.563				1.353						
	0.191	0.147				0.147						
-11.70	1.821	1.463				1.727						
	0.251	0.138				0.220						
12.48	1.609	1.723	1.552	2.019								
	0.232	0.170	0.182	0.210								
-12.48	1.444	1.549	2.196	1.565								
	0.183	0.151	0.306	0.180								

D_{4000}													
r	N5846	N4489	IC767	N4431	N4415	N5846A	IC794	r	N5846	N4489	IC767	N4431	N4415
($''$)	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	($''$)	σ	σ	σ	σ	σ
0.16	2.204	2.172	1.777	1.640	2.154	2.135	1.605	7.26	1.858				
	0.146	0.055	0.045	0.132	0.228	0.173	0.219		0.225				
0.66	2.343	2.128	1.775	1.715	1.847	2.116		-7.26	2.814				
	0.163	0.057	0.047	0.143	0.195	0.169			0.492				
-0.66	2.899	2.143	1.720	2.034	1.843	2.100		7.59		1.661			
	0.240	0.058	0.045	0.184	0.190	0.172				0.180			
0.99							2.151	-7.59		1.980			
							0.313			0.266			
-0.99							1.934	7.92	1.891				
							0.251		0.247				
1.32	2.462	2.062	1.771	1.798	1.893	1.995		-7.92	2.310				
	0.179	0.068	0.054	0.164	0.230	0.163			0.350				
-1.32	2.427	2.137	1.812	2.090	1.736	2.310		8.25			1.668	2.485	1.427
	0.174	0.073	0.056	0.211	0.196	0.215					0.222	0.502	0.177
1.98	2.551	2.129	1.909	1.753	1.782	2.046		-8.25			1.496	2.606	1.125
	0.201	0.096	0.074	0.170	0.247	0.184					0.216	0.539	0.126
-1.98	2.244	2.112	1.736	1.817	1.742	1.893		8.58	2.573				
	0.162	0.097	0.063	0.182	0.217	0.161			0.458				
2.64	2.427	2.076	1.720	1.907		2.656	2.153	-8.58	1.695				
	0.202	0.125	0.078	0.224		0.363	0.325		0.223				
-2.64	2.345	2.048	1.754	1.681		1.824	1.689	8.91		1.791			
	0.192	0.122	0.079	0.167		0.182	0.209			0.241			
2.97					1.822			-8.91		1.757			
					0.209					0.245			
-2.97					1.299			9.57	2.679				
					0.121				0.436				
3.30	2.557	1.825	1.686	1.838		2.361		-9.57	2.309				
	0.247	0.129	0.092	0.227		0.367			0.312				
-3.30	2.571	2.047	1.691	1.440		2.377		9.90				2.190	
	0.250	0.155	0.094	0.150		0.369						0.374	
3.96	2.087	1.799	1.841	1.990		2.184		-9.90				1.464	
	0.189	0.153	0.128	0.294		0.364						0.183	
-3.96	2.320	1.960	1.835	1.788		2.464		10.56		1.870			
	0.222	0.181	0.128	0.238		0.419				0.269			
4.29					1.988			-10.56		1.618			
					0.291					0.220			
-4.29					1.377			10.89	1.648		1.495		
					0.163				0.183		0.184		
4.62	2.298	1.778	1.742	1.927				-10.89	1.956		1.490		
	0.229	0.176	0.148	0.293					0.267		0.201		
-4.62	2.546	1.923	1.733	2.171				11.22					1.096
	0.288	0.212	0.147	0.371									0.124
4.95						1.774	1.600	-11.22					1.582
						0.227	0.229						0.255
-4.95						2.336	1.325	12.21	2.075			1.593	
						0.327	0.155		0.339			0.232	
5.28	2.586	1.568	1.679					-12.21	1.619			1.986	
	0.300	0.159	0.159						0.224			0.305	
-5.28	2.337	1.832	1.717					13.20		1.659			
	0.268	0.213	0.165							0.236			
5.61				1.739				-13.20		1.671			
				0.201						0.248			
-5.61				1.934				13.86	2.126				
				0.240					0.344				
5.94	2.549	1.567	1.786		2.173			-13.86	2.076				
	0.340	0.187	0.225		0.352				0.302				
-5.94	2.290	1.617	1.823		1.414			16.17	1.802				
	0.281	0.189	0.227		0.158				0.251				
6.60	2.174	1.732						-16.17	1.794				
	0.275	0.244							0.249				
-6.60	2.225	1.879											
	0.296	0.287											
6.93			1.896	2.319		1.184							
			0.203	0.343		0.135							
-6.93			1.405	1.823		2.553							
			0.137	0.238		0.422							

